

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### DISEÑO ELÉCTRICO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN SAN FRANCISCO-CULEBRA-SHUSHUFINDI, A 230 KV, BASADO EN UNA BAJA TASA DE FALLO

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN  
ELECTRICIDAD

HENRRY JONATAN MANOSALVAS PORRAS

[henry.manosalvas@epn.edu.ec](mailto:henry.manosalvas@epn.edu.ec)

DIRECTOR: Hugo Marcelo Villacís Salazar

[hugo.villacis@epn.edu.ec](mailto:hugo.villacis@epn.edu.ec)

DMQ, febrero 2022

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Henryr Jonatan Manosalvas Porras, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

**Henryr Manosalvas P.**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Henryr Jonatan Manosalvas Porras, bajo mi supervisión.

**Hugo Villacis**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

HENRRY MANOSALVAS P

HUGO VILLACIS

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	III
RESUMEN .....	V
ABSTRACT.....	VI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 MARCO TEÓRICO .....	3
1.4.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP) [5] .....	3
1.4.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICAS (LT).....	3
1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	6
1.4.3 EFECTO CORONA [4] [3].....	11
1.4.4 CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS [4] .....	15
1.4.5 RADIO INTERFERENCIA [13].....	20
1.4.6 RUIDO AUDIBLE [4] [13].....	23
2. METODOLOGÍA.....	27
2.1 SELECCIÓN PRELIMINAR DE LA RUTA.....	27
2.2 MODELADO DE LA LÍNEA ELÉCTRICA SAN FRANCISCO – CULEBRA– SHUSHUFINDI EN BASE A LA POTENCIA USANDO EL SOFTWARE ATP Y MATLAB .....	28
2.2.1 CÁLCULO DE LA CORRIENTE TRASMITIDA POR LA LÍNEA .....	29
2.2.2 ANÁLISIS DE POSIBLES CONDUCTORES .....	29
2.2.3 DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA TORRE .....	29
2.2.4 CÁLCULO DEL GRADIENTE MÁXIMO Y CRÍTICO .....	30
2.2.5 DETERMINACIÓN DEL EFECTO CORONA .....	31
2.2.6 CÁLCULO DE PERDIDAS POR EFECTO CORONA .....	32
2.2.7 CÁLCULO DE LOS NIVELES DE RADIO INTERFERENCIA .....	32
2.2.8 CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO EN LOS LÍMITES DE LA FRANJA DE SERVIDUMBRE.....	34
2.2.9 CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LOS LÍMITES DE LA FRANJA DE SERVIDUMBRE.....	35
2.2.10 CÁLCULO DEL RUIDO AUDIBLE .....	36



3.	RESULTADOS .....	37
3.1	OPCIONES DE CONDUCTORES .....	37
3.2	RESULTADOS DE EFECTO CORONA.....	37
3.2	RESULTADOS DE RADIOINTERFERENCIA .....	41
3.3	RESULTADOS DE RUIDO AUDIBLE .....	45
3.4	RESULTADOS CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO.....	49
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
4.1	CONCLUSIONES .....	51
4.2	RECOMENDACIONES.....	52
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
6.	ANEXOS .....	54
	ANEXO I.....	54
	ANEXO II.....	58
	ANEXO III.....	73
	ANEXO IV.....	77

## RESUMEN

Bajo el nuevo plan de fortalecimiento del sector petrolero del gobierno actual, es necesario dotar al sistema petrolero con un nuevo punto de conexión que enlace las subestaciones San Francisco – Culebra – Shushufindi. Con la finalidad de realizar el diseño de una línea de transmisión doble circuito a 230 kV, basado en el estudio de conductor óptimo, se realizó una investigación bibliográfica. Se seleccionó una ruta preliminar de la línea mediante un sistema de información geográfica. Adicionalmente, se modeló la línea en el software Matlab para determinar la corriente con base en la potencia a transmitir y así establecer posibles conductores a ser utilizados. Se calculó el gradiente crítico, gradiente máximo, ruido audible, radio interferencia y pérdidas por corona. Además, se estableció la geometría de las torres que serán usadas y las distintas configuraciones de los conductores. Al finalizar la simulación de cada una de las configuraciones con cada tipo de conductor, mediante análisis de los resultados, se ha determinado que el conductor que cumple con los parámetros de RA (ruido audible), menores pérdidas por efecto corona, entre otras características es el ACAR 750, con dos subconductores por fase.

**PALABRAS CLAVE:** Gradiente Crítico, Efecto Corona, Distancia Media Geométrica, Ruido Audible

## **ABSTRACT**

According to the current government's new plan to strengthen the oil sector, it is necessary to provide the oil system with a new connection point linking the San Francisco - Culebra - Shushufindi substations. With the purpose of designing a 230 kV double circuit transmission line, based on the optimal conductor study. Bibliographic research was carried out. A preliminary route of the line was selected using QGIS and Google Earth software. The line was modeled in Matlab software to determine the current and thus establish possible conductors to be used. The critical gradient, maximum gradient, audible noise, radio interference and corona losses were calculated. In addition, the geometry of the towers to be used and the different conductor configurations were established. At the end of the simulation of each of the configurations with each type of conductor, it was determined that the conductor that satisfies the RA parameters, lower corona losses, among other characteristics, is the ACAR 750, with two subconductors per phase.

**KEYWORDS:** Critical Gradient, Corona Effect, Geometric Mean Distance, Audible Noise

# 1. INTRODUCCIÓN

La Empresa pública Petroecuador informó en marzo de 2021, que para el año 2022 se contempla la perforación de 72 pozos de extracción de crudo en el campo Ishpingo, además hasta finales del año 2021 se incrementará 8 pozos en el área de Tambococha [1]. La energía eléctrica necesaria para estos proyectos será abastecida desde el SNT (Sistema Nacional de Transmisión) a través de la línea de transmisión doble circuito San Rafael – Jivino – Shushufindi, a 230 kV [2]. Sin embargo, este tipo de conexión implica que toda la carga petrolera estará abastecida de manera radial desde la subestación San Rafael y una falla en su transformador o una salida de los dos circuitos de la línea de transmisión provocará que un gran porcentaje del sistema petrolero quede sin energía. Por tal motivo, se ha visto la necesidad de dotar al sistema petrolero de un nuevo punto de conexión mediante una línea doble circuito a 230 kV, con una capacidad de 300 MVA que enlace las subestaciones San Francisco – Culebra – Shushufindi.

Para el diseño eléctrico de esta línea de transmisión se tomará en cuenta el estudio del conductor óptimo basado en Compatibilidad Electromagnética, con la finalidad de minimizar el desabastecimiento de energía eléctrica al sector petrolero [3] [4].

Este documento describe el diseño, cálculos y análisis de resultados para definir el conductor óptimo de la línea de transmisión San Francisco – Culebra – Shushufindi.

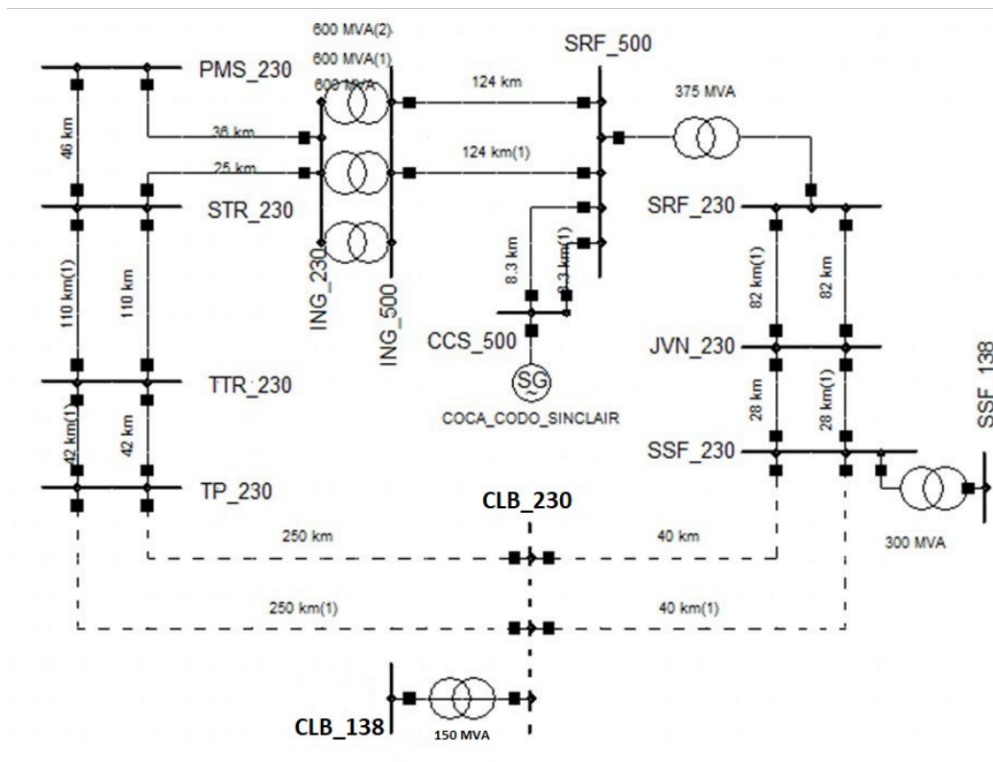


Figura 1.1 Diagrama unifilar de la línea San Francisco – Culebra – Shushufindi

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el diseño eléctrico de una línea de transmisión doble circuito a 230 kV San Francisco – Culebra– Shushufindi, basado en el estudio de conductor óptimo.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Aplicar la referencia bibliográfica para el diseño de una línea de transmisión aérea doble circuito de 230 kV
2. Realizar un estudio analítico de campo eléctrico, campo magnético, ruido audible, radiointerferencia y pérdidas por corona.
3. Modelar la línea eléctrica San Francisco – Culebra– Shushufindi usando los softwares ATP y/o Matlab Simulink
4. Definir el calibre del conductor y número de conductores por fase de la línea de transmisión con base en pérdidas de potencia por efecto corona, niveles de campo eléctrico y magnético, ruido audible y radiointerferencia en el límite de la faja de servidumbre.
5. Definir la geometría de la torre óptima, basado en compatibilidad electromagnética.

## **1.3 ALCANCE**

Se realizará una investigación de la información bibliográfica en artículos, libros y trabajos de titulación sobre temas referentes al diseño electromecánico de líneas de transmisión y simulación en los softwares ATP / Matlab.

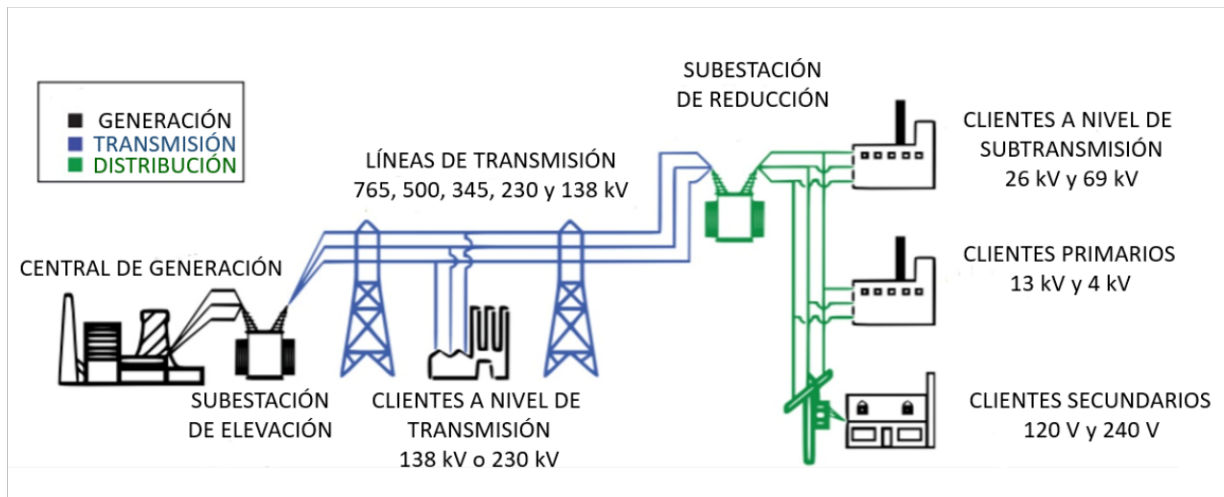
Durante la elaboración del proyecto se definirá inicialmente una ruta preliminar y la ubicación de los vértices de la línea de transmisión San Francisco – Culebra – Shushufindi, con la ayuda de la herramienta Google Earth, tomando en cuenta las afectaciones más importantes como son: áreas ambientales afectadas, vías principales, centros poblados, y cruce de ríos durante todo el recorrido de la línea.

Una vez se tenga la ruta preliminar se realizará un análisis, mediante simulación y cálculo analítico, de pérdidas por efecto corona, niveles de campo eléctrico, ruido audible y radio interferencia, en el límite de la franja de servidumbre, usando los softwares Matlab / ATP, con la finalidad de obtener el calibre del conductor y número de conductores óptimos por fase, además de la geometría de la torre de la línea de transmisión.

## 1.4 MARCO TEÓRICO

### 1.4.1 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (SEP) [5]

Un sistema eléctrico de potencia está compuesto por todos los equipos necesarios para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.



**Figura 1.2** Vista general de un sistema eléctrico de potencia general [6]

La Figura 1.2, muestra una vista general de un Sistema Eléctrico de Potencial, con todos sus componentes.

### 1.4.2 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICAS (LT)

Las LT cumple la función de transportar la energía eléctrica, desde las centrales de generación hacia las cargas. Los elementos que la constituyen son: conductores, estructuras de soporte, aisladores, herrajes, elementos de puesta a tierra y cables de guarda [7].

#### 1.4.2.1 Selección de la ruta para líneas de transmisión

Después de establecer la zona donde se construirá la línea de transmisión, los nodos de conexión (estos pueden ser centrales de generación de energía eléctrica, subestaciones o sitios de seccionamiento) se definen posibles rutas, de las cuales se realizará una evaluación para definir la mejor opción [8].

1. Google Earth

Luego de identificar los extremos de la ruta, y con la ayuda de la aplicación Google Earth se trazan las rutas preliminares, es importante evitar en lo posible obstáculos como: ríos, zonas pobladas, montañas, carreteras, áreas protegidas, bosques, entre otros.

2. Estudio de las alternativas de ruta

Una vez definidas las alternativas de ruta, se realiza un análisis donde se deben considerar factores económicos, técnicos y ambientales.

### 3. Estudios de distancias de seguridad

Para definir las distancias de seguridad se deberá cumplir con lo establecido en la regulación CONELEC 002/10, emitida por el CONELEC; actualmente Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). Es importante considerar estos espacios sobre todo cuando se debe cruzar por zonas urbanas o sectores poblados, con la finalidad de salvaguardar la integridad física de la población.

### 4. Estudios de niveles electromagnéticos/audibles.

Es importante analizar la incidencia de los campos eléctricos, la radio interferencia y el ruido audible en los límites de la franja de servidumbre, ya que son factores que pueden ocasionar estragos en las zonas aledañas.

## **1.4.2.2 Características eléctricas de las líneas de transmisión**

Las características eléctricas en los conductores de las LT comprenden los parámetros impedancia y admitancia.

La Impedancia está conformada por la resistencia y la inductancia, uniformemente distribuidas a lo largo de la línea y se representa como un elemento en serie.

La Admitancia está integrada por la susceptancia y la conductancia y en este caso se representa como un elemento en paralelo, la conductancia representa la corriente de fuga entre los conductores y los aisladores, esta propiedad es despreciable por lo que no es considerado un parámetro influyente en su cálculo.

Según los fenómenos a estudiar, se requiere un conjunto diferente de parámetros [4].

- Para flujo de carga y transitorios electromecánicos, los parámetros son la secuencia positiva.
- En el cálculo de cortocircuitos, se usan los parámetros de secuencia positiva / negativa / cero.
- En los transitorios electromagnéticos, se utilizan los parámetros de fase y sus parámetros dependientes de la frecuencia.

### **1.4.2.2.1 Resistencia [9]**

*“La resistencia es la oposición que cualquier material ofrece al paso de la corriente eléctrica”.* Conceptualmente la resistencia de cualquier elemento conductor depende de sus dimensiones físicas y de la resistividad, pudiéndose expresarse como:

$$R = \rho \frac{L}{S} \Omega \quad (1.1)$$

Donde:

$\rho$  = Resistividad del conductor [en  $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ]

L = Longitud del cable [en m]

S = Sección del cable [en  $\text{mm}^2$ ]

La resistividad  $\rho$  depende de la temperatura, si se desea saber la resistividad de un material a cualquier temperatura, se usa la siguiente formula:

$$\rho_0 = \rho_{20^\circ\text{C}} + \rho_{20^\circ\text{C}} \cdot \alpha (T - 20^\circ) \quad (1.2)$$

Donde:

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura a  $20^\circ\text{C} \Rightarrow$  es un valor tabulado en las tablas

$\rho_0$  = Resistividad a la temperatura deseada

$\rho_{20^\circ\text{C}}$  = Resistividad a  $20^\circ\text{C}$  [de las tablas]

T = Temperatura a la que se desea determinar la resistividad [en  $^\circ\text{C}$ ]

La mayoría de las fabricantes brindan los datos de resistencia a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , Para obtener valores de resistencia a diferentes valores de temperatura se puede utilizar la Ecuación 1.3 [4].

$$R_T = R_{20}[1 + \beta(T - 20)] \quad (1.3)$$

Donde:

T= Nueva temperatura

$\beta$ = Coeficiente de temperatura de resistencia

$R_{20}$ = Resistencia a  $20^\circ\text{C}$

$R_T$ = Resistencia a la temperatura T

$\beta$  es igual a 0,00403 para el aluminio y 0,00393 para el cobre.

En el caso que se use un haz de conductores, la resistencia viene dada por la división de la resistencia de un sub-conductor para el número de hilos del haz.

#### **1.4.2.2 Inductancia [10] [9]**

La inductancia es un parámetro que permite relacionar el campo magnético y la corriente que circula por el conductor. Este parámetro principalmente depende de la configuración geométrica y del diámetro de los conductores.

La inductancia puede ser calculada por la siguiente ecuación:



$$L = \frac{\mu}{2\pi} * \ln \frac{DMG}{r_{eq}} \quad (1.4)$$

Donde:

$L$  = Inductancia, en [H/m]/fase

$DMG$  = Distancia media geométrica, [cm]

$r_{eq}$  = Radio equivalente del conductor, en [cm]

$\mu$  = Permeabilidad, [H/m]

$$\mu = \mu_0 * \mu_r$$

Permeabilidad:

$\mu = 1 \Rightarrow Cu, Al, aleaciones.$

Permeabilidad absoluta:

$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$$

$\mu = 200 \Rightarrow Acero galvanizado$

Permeabilidad relativa:

$\mu_r \rightarrow (Tablas, ...)$

#### 1.4.2.2.3 Capacitancia [10] [9]

La capacitancia es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores que lo forman y la Tierra. Esta diferencia de potencial origina que los conductores se carguen de la misma forma que lo haría un capacitor. La capacitancia puede ser calculada mediante:

$$C = \frac{2\pi k}{\ln\left(\frac{DMG}{r_{eq}}\right)} \quad (1.5)$$

Donde:

$C$  = Capacitancia de una línea, en [F/m] al neutro

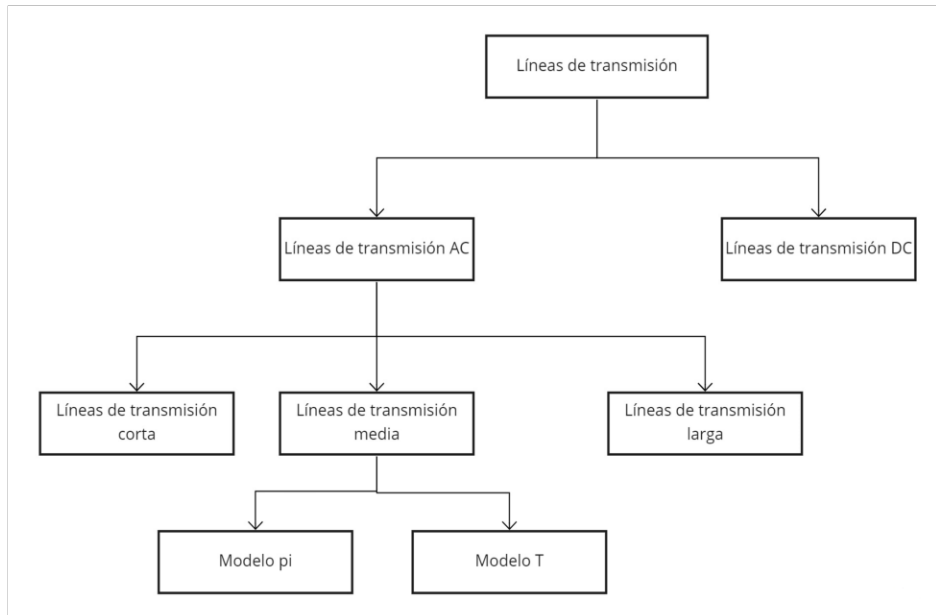
$k$  = Constante de permisividad  $8.854 * 10^{-12} \frac{10^{-12}}{36\pi}$  [F/m]

$DMG$  = Distancia media geométrica, [cm]

$r_{eq}$  = Radio equivalente del conductor, [cm]

### 1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

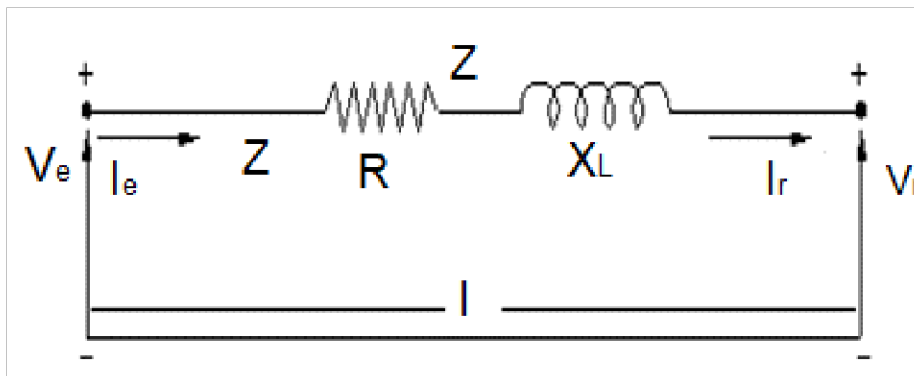
Existen dos tipos principales de LT, las líneas de corriente directa DC y las líneas de corriente alterna AC. Las líneas de transmisión AC se clasifican en: líneas cortas, medias y largas, como se muestra en la Figura 1.3.



**Figura 1.3** Clasificación de las líneas de transmisión [9]

### 1.4.2.1 Líneas de transmisión de longitud corta [11]

Para líneas cortas se considera una longitud de hasta 80 km, en este tipo de líneas la admitancia en derivación es despreciable, lo cual da por resultado el circuito equivalente de la Figura 1.4. Al ser un circuito en serie, la relación entre voltaje y corriente en el extremo transmisor y en el extremo receptor se pueden calcular con las Ecuaciones 1.6, 1.7 y 1.8.



**Figura 1.4** Circuito equivalente de una línea corta, [11]

$$V_e = V_r + ZI_r \quad (1.6)$$

$$I_e = I_r \quad (1.7)$$

$$Z = R + jX_L \quad (1.8)$$

Donde:

$V_e$  = Voltaje en el emisor, [A]

$V_e$  = Voltaje en el emisor, [A]

$I_e$  = Corriente en el emisor, [A]

$I_r$  = Corriente en el receptor, [A]

$X_L$  = Reactancia Inductiva, [ $\Omega$ ]

$R$  = Resistencia, [ $\Omega$ ]

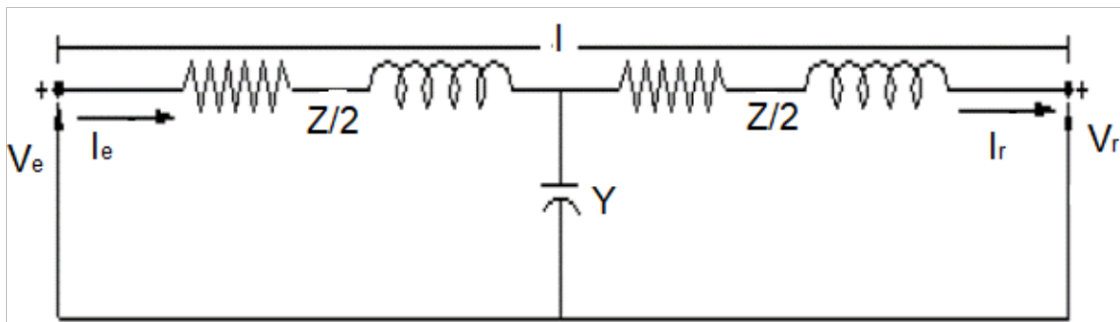
### 1.4.2.2 Líneas de transmisión de longitud media [11]

Son líneas de transmisión que van desde 80 km hasta los 240 km, en estas líneas el efecto de la capacitancia ya no es despreciable y la admitancia en derivación debe ser tomada en cuenta para los cálculos de corrientes y voltajes.

Para los cálculos de estas líneas se puede utilizar los circuitos equivalentes (T) o ( $\pi$ )

#### **Circuito equivalente T nominal**

Para el caso del circuito equivalente, se debe concentrar la admitancia en derivación en el centro de la línea de acuerdo con la figura.



**Figura 1.5** Circuito equivalente T [11]

Para el circuito en T nominal, se tiene las siguientes ecuaciones de circuito:

$$V_e = V_r \cdot \left(1 + \frac{1}{2}ZY\right) + Z \cdot \left(1 + \frac{1}{4}YZ\right) \cdot I_R \quad (1.9)$$

$$I_e = Y \cdot V_r + I_R \cdot \left(1 + \frac{1}{2}YZ\right) \quad (1.10)$$

Donde:

$V_e$  = Voltaje extremo receptor, [kV]

$I_e$  = Corriente en el emisor, [A]

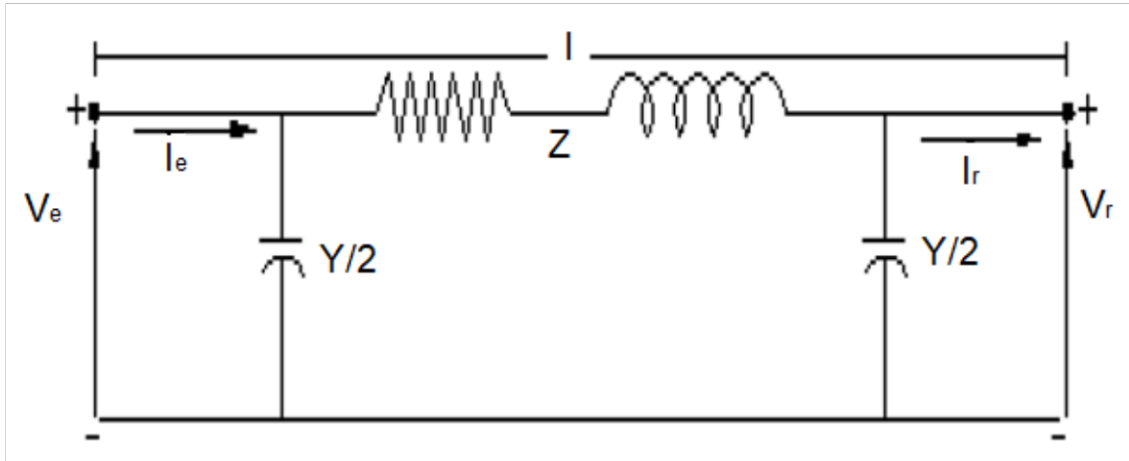
$I_R$  = Corriente extremo receptor, [A]

$Y$  = Admitancia total en derivación/fase a neutro, [ $\Omega$ ]

$Z$  = Impedancia total en serie/fase, [ $\Omega$ ]

### **Circuito equivalente $\pi$ nominal**

Para el circuito equivalente  $\pi$ , la admitancia en derivación total de la línea se divide en dos partes iguales que se concentran en los extremos de transmisión y recepción, como se muestra en la Figura 1.6.



**Figura 1.6** Circuito equivalente Pi, [11]

Para el circuito en  $\pi$  nominal, se tiene las siguientes ecuaciones de circuito:

$$V_e = V_r \cdot \left(1 + \frac{1}{2}YZ\right) + Z \cdot I_r \quad (1.11)$$

$$I_e = Y \cdot \left(1 + \frac{1}{4}YZ\right) \cdot V_r + I_r \cdot \left(1 + \frac{1}{2}YZ\right) \quad (1.12)$$

Donde,

$V_e$ = Voltaje extremo receptor, [kV]

$I_e$ = Corriente en el emisor, [A]

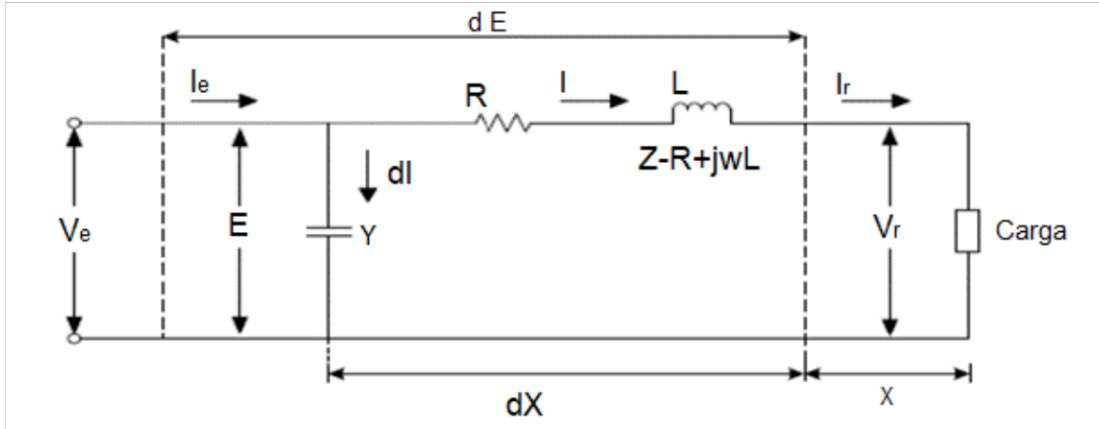
$I_r$ = Corriente extremo receptor, [A]

$Y$ = Admitancia total en derivación/fase a neutro, [ $\Omega$ ]

$Z$  = Impedancia total en serie/fase, [ $\Omega$ ]

### **1.4.2.3 Líneas de transmisión de longitud larga [11]**

Las líneas de transmisión largas son las que tienen una longitud mayor a 240 km. En este caso los parámetros de la línea se distribuyen uniformemente a lo largo de su longitud, en este caso se debe considerar el circuito equivalente, mostrado en la Figura 1.7.



**Figura 1.7** Circuito equivalente de una línea larga [11]

Al resolver el sistema, se tiene:

$$V = \left( \frac{V_r + I_r Z_c}{2} \right) \epsilon^{\gamma x} + \left( \frac{V_r - I_r Z_c}{2} \right) \epsilon^{-\gamma x} \quad (1.13)$$

$$I = \left( \frac{\frac{V_r}{Z_c} + I_r}{2} \right) \epsilon^{\gamma x} + \left( \frac{\frac{V_r}{Z_c} - I_r}{2} \right) \epsilon^{-\gamma x} \quad (1.14)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (1.15)$$

$$\gamma = \sqrt{zy} \quad (1.16)$$

Donde:

$V$ = Voltaje en cualquier punto de la línea, [V]

$I$  = Corriente en cualquier punto de la línea, [A]

$Z_c$ = Impedancia característica, [ $\Omega$ ]

$z$ = Impedancia en cualquier punto de la línea, [ $\Omega$ ]

$y$ = Admitancia en cualquier punto de la línea, [ $\Omega$ ]

$\gamma$ = Constante de propagación

$x$ = Distancia desde el extremo receptor de la línea, [km]

### 1.4.3 EFECTO CORONA [4] [3]

Cuando se aplica un conjunto de tensiones en los conductores de una línea de transmisión, aparece un campo eléctrico o gradiente de tensión en su superficie (gradiente de superficie del conductor). Si este gradiente superficial está por encima de un determinado límite (gradiente Peek o Corona crítica o gradiente establecido) se inician las descargas Corona.

Los fenómenos de descarga eléctrica producen diversos efectos (pérdida de potencia, campos electromagnéticos de alta frecuencia), emisión acústica y luminosa, generación de iones y ozono).

Los campos electromagnéticos de alta frecuencia interfieren con las señales de radio o televisión en la proximidad de las líneas.

Una persona que se encuentre cerca de una línea aérea cuyos conductores y/o conjuntos estén bajo Corona puede oír a veces un ruido especial: sonidos de fritura, crepitación y siseo y zumbidos de baja frecuencia.

Estos efectos están influenciados por las características de la línea de transmisión (tamaño del conductor, configuración del haz, distancia entre fases, altura del conductor a tierra), el gradiente de la superficie del conductor y las condiciones atmosféricas (temperatura, presión, lluvia, nieve, etc.) a las que se asigna un comportamiento estadístico al fenómeno.

#### 1.4.3.1 Gradiente Superficial del conductor [3]

El efecto corona se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor o gradiente crítico; es función de dos elementos: el gradiente potencial en la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez depende de la presión atmosférica y la temperatura.

En base al número de conductores por fase, el  $r_{eq}$  se puede calcular por las siguientes ecuaciones:

- a) Un conductor por fase

$$r_{eq} = r \quad (1.17)$$

- b) Para dos o más conductores por fase

$$r_{eq} = \sqrt[n]{n * r * R^{n-1}} \quad (1.18)$$

$$R = \frac{S}{2 * \sin \frac{\pi}{n}} \quad (1.19)$$

Donde:

$r_{eq}$  = radio del conductor, [cm]

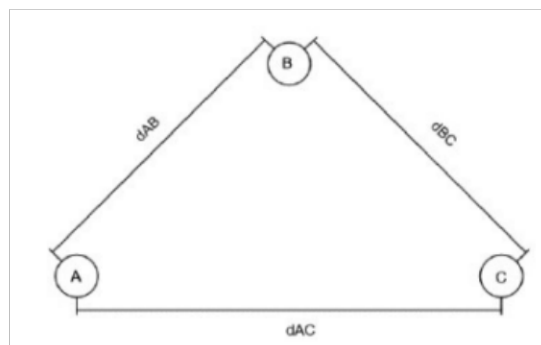
R = Radio de los conductores agrupados en una misma fase, [cm]

S = Separación entre los conductores, [cm]

La distancia media geométrica, dependiendo del número de circuitos puede calcularse por las siguientes ecuaciones:

a) DMG circuito trifásico simple

$$DMG = \sqrt[3]{d_{AC} * d_{AB} * d_{BC}} \quad (1.20)$$



**Figura 1.8** Distancias entre conductores de fase para el cálculo de la DMG en una línea trifásica con circuito simple [9]

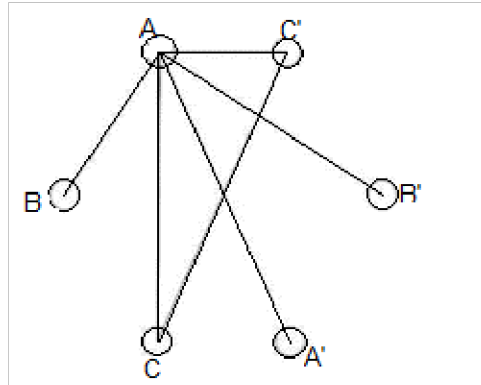
b) DMG circuito trifásico doble

$$DMG = \sqrt[3]{D_A * D_B * D_C} \quad (1.21)$$

$$D_A = \frac{\sqrt[2]{d_{AC} * d_{AB'} * d_{AB} * d_{AC'}}}{d_{AA'}} \quad (1.22)$$

$$D_B = \frac{\sqrt[2]{d_{BA} * d_{BA'} * d_{BC} * d_{CB'}}}{d_{BB'}} \quad (1.23)$$

$$D_C = \frac{\sqrt[2]{d_{CA} * d_{CA'} * d_{CB} * d_{CB'}}}{d_{CC'}} \quad (1.24)$$



**Figura 1.9** Distancias entre conductores de fase para el cálculo de la DMG en una línea trifásica de doble circuito [12]

Para líneas con haz de conductores, las distancias  $d_{AB}, d_{AB'}, d_{AC}, d_{AC'}, d_{AA'}, etc$  son las distancias entre los centros del haz de conductores de las fases  $A, B, C, A', B', C'$ .

El gradiente máximo medio de los subconductores se define por:

$$E = E_{sub} \left[ 1 + \frac{2 * (n - 1) r}{S} * \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \right] \quad (1.25)$$

Como se supone que la carga total del haz de conductores se distribuye por igual en los  $n$  subconductores, el gradiente medio de un conductor en un haz viene dado por:

$$E_{sub} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{U}{n * r * \ln\left(\frac{DMG}{r_{eq}}\right)}} \quad (1.26)$$

Donde:

$n$  = número de conductores en el haz

$U$  = Voltaje de la línea [kV r.m.s]

$DMG$  = Distancia media geométrica, [cm]

$r_{eq}$  = Radio equivalente del conductor, en [cm]

$E$  = Gradiente máximo medio de los conductores [kV/cm]

$E_{sub}$  = Gradiente medio de los conductores [kV/cm]

El gradiente crítico de inicio de la Corona viene dado por:

$$E_c = E_0 \delta m \left[ 1 + \frac{k}{\sqrt{\delta r}} \right] \quad (1.27)$$

Donde:

$E_c$  = Gradiente superficial crítico de inicio de corona, [kV/cm]



$E_0$  = Gradiente en condiciones normales ( $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 76 \text{ cm Hg}$ )  $\left(\frac{kV}{cm}\right)$

$$E_0 = 21.21 \left(\frac{kV}{cm}\right)$$

$r$  =radio del conductor, [cm]

$k = 0.308$  para AC o DC;

$m$  = factor de superficie

$$m = m_c * m_t$$

**Tabla 1.1** Valores de factor superficial y factor ambiental [3]

<b>Factor “<math>m_c</math>” superficial</b>	
1	Conductor liso ideal
0.88 – 0.96	Conductor nuevo y limpio
0.80 – 0.87	Conductor áspero envejecido
0.50 – 0.70	Conductor tratado deficientemente
<b>Factor “<math>m_t</math>” ambiental</b>	
1	Seco
0.8	Húmedo
0.16 – 0.25	Lluvia

Para determinar la densidad relativa del aire se tiene la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{0.3921P}{273 + t} \quad (1.28)$$

Donde:

$\delta$  =densidad relativa del aire

$P$  =presión del aire, [mmHg]

$t$  = Temperatura del aire, [ $^\circ\text{C}$ ]

La presión atmosférica a diferentes alturas puede ser calculada con la fórmula de Halley.

$$P = 10^{\log(760) - \frac{y}{18336}} \quad (1.29)$$

La temperatura del aire a distintas alturas puede ser estimada por:

$$t = 25 - \frac{y}{200} \quad (1.30)$$

Donde

$y$  = metros sobre el nivel del mar

$t$  = Temperatura del aire, [ $^\circ\text{C}$ ]

$P$  =presión del aire, [mmHg]

En el diseño de la línea, el gradiente de la superficie del conductor debe ser menor que el gradiente crítico e incluir un factor de seguridad (por ejemplo:  $E < 0,95E_c$ ). Este gradiente es también el factor clave en las interferencias que puede provocar la línea [4].

#### 1.4.3.2 Pérdidas por corona [4], [14]

Las pérdidas en los conductores pueden darse por el efecto Joule y el efecto Corona, las cuales dependen directamente de la corriente y el voltaje en el que funciona la línea.

Las pérdidas por efecto corona se producen en líneas de transmisión cuando el gradiente de voltaje del conductor supera el gradiente de voltaje del aire, estas pérdidas pueden generarse por varios factores tales como, geometría del conductor, gradiente del conductor, voltajes y condiciones meteorológicas, el promedio de perdidas por efecto corona es pequeño en comparación con las perdidas por efecto Joule.

Generalmente las pérdidas vienen dadas en kW/km/ fase, pero en el caso de las perdidas por Corona es difícil encontrar un modelo analítico que permita calcularlas de manera exacta, por esta razón se usan métodos estadísticos y relaciones empíricas, como la siguiente ecuación:

$$P = \frac{241 \cdot 10^{-5}}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{DMG}} \left[ \ln \frac{DMG}{r_{eq}} \right]^2 r^2 (E - E_c)^2 \quad (1.31)$$

Donde:

$P$  = Pérdidas por corona, en [kW/km/fase]

$f$  = frecuencia, en [Hz]

$\delta$  = densidad relativa del aire

$E_c$  = Gradiente superficial crítico de inicio de corona, [kV/cm]

$E$  = gradiente superficial máximo del conductor, [kV/cm]

$DMG$  = Distancia media geométrica, [cm]

$r_{eq}$  = Radio equivalente del conductor, en [cm]

$r$  = Radio del subconductor, en [cm]

#### 1.4.4 CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS [4]

Los efectos de los campos eléctricos y magnéticos a nivel del suelo de las líneas eléctricas aéreas son cada vez más preocupantes, a medida que aumentan las tensiones de transmisión. Los campos eléctricos son especialmente importantes porque sus efectos sobre los seres vivos han sido motivo de preocupación en las últimas décadas.

Los campos eléctricos y magnéticos resultantes en las proximidades de una línea de transmisión son la superposición de los campos debidos a los conductores trifásicos. Normalmente se imponen algunas limitaciones, originadas por la práctica o las investigaciones, al campo eléctrico máximo en el borde de la línea de transmisión

La evaluación de los campos eléctricos y magnéticos a través del derecho de paso de la línea de transmisión aérea puede hacerse hoy en día con gran precisión.

#### **1.4.3.1 Campo eléctrico [13]**

Una visualización más intuitiva de un campo eléctrico se obtiene considerando dos placas conductoras paralelas separadas por un medio aislante, como el aire. Si se aplica una tensión entre las dos placas, se creará un campo eléctrico entre ellas, dirigido de una placa a la otra.

El campo eléctrico generado por las líneas de transmisión de energía puede calcularse con suficiente precisión mediante un análisis bidimensional simplificado. Los supuestos en los que se basa este análisis son los siguientes:

- Los campos eléctricos en las proximidades de las líneas de transmisión de corriente alternan se calculan suponiendo que no hay carga espacial, estando las cargas sólo en las superficies de los conductores, en el suelo y en los objetos conectados a tierra. La corona, cuando está presente, crea una carga espacial cerca del conductor que afecta al campo eléctrico, pero de forma insignificante, incluso con mal tiempo cuando la corona es mayor
- Los conductores de las líneas eléctricas pueden simularse con un conjunto de conductores cilíndricos de longitud infinita, paralelos entre sí sobre una tierra plana.
- Se supone que la tierra es un conductor perfecto porque el tiempo necesario para que las cargas se redistribuyan en la superficie de la tierra bajo la acción de un cambio en el campo aplicado es extremadamente pequeño comparado con el periodo de la frecuencia de la energía. El medio dieléctrico entre los conductores y la tierra es el aire, cuya permitividad es prácticamente independiente de las condiciones meteorológicas y es igual a la permitividad del espacio libre.

El campo eléctrico en un punto del espacio se puede calcular a partir de las cargas.

Las cargas se calculan conociendo la tensión,  $V_k$ , aplicada a cada conductor,  $k$ , y la geometría de la torre.

Se requiere resolver la ecuación matricial:

$$[Q] = [C][V] \quad (1.32)$$

Donde:

$[Q]$  es la vector de cargas [C/m]

$[C]$  es la matriz de capacitancias [F/m]

$[V]$  es el vector de voltajes, [V]

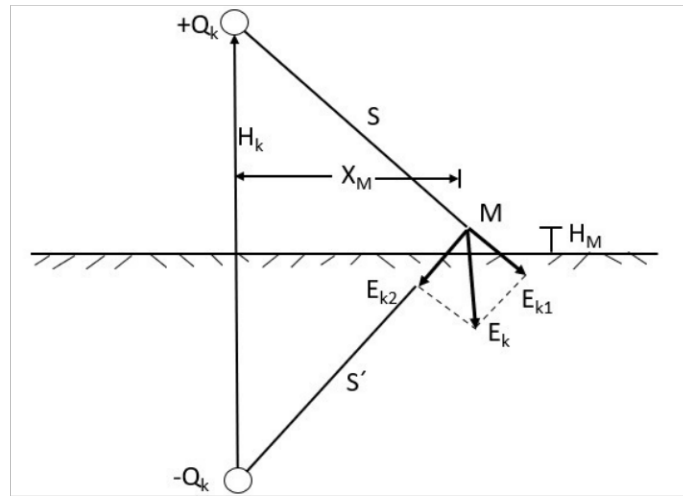
Las cargas y tensiones son magnitudes que pueden ser expresadas mediante números complejos, con una parte real y otra imaginaria

La ecuación 1.32 puede separarse en su parte real e imaginaria.

$$[Q_r] = [C][Q_r] \quad (1.33)$$

$$[Q_i] = [C][Q_i] \quad (1.34)$$

En la Figura 1.10, se observa la distancia horizontal del conductor K y la altura sobre el suelo del punto de medición M, las mismas que se denominan como  $X_M$  y  $H_M$ , respectivamente, mientras que  $H_K$  indica la altura del conductor.



**Figura 1.10** Campo eléctrico para una línea cargada [13]

La magnitud de las componentes horizontales y verticales del campo eléctrico causadas por las cargas en el conductor K,  $E_{Kx}$  y  $E_{Ky}$ , vienen dadas por las ecuaciones 1.35 y 1.36

$$[E_{Kx}] = \frac{(Q_{rk} + jQ_{ik})}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right] \quad (1.35)$$

$$[E_{Ky}] = \frac{(Q_{rk} + jQ_{ik})}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{X_M - H_k}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{X_M + H_k}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right] \quad (1.36)$$

Las componentes verticales y horizontales del vector campo eléctrico se calculan sumando las contribuciones de todos los conductores.

$$[E_x] = \sum_k E_{kx} = E_{rx} + jE_{ix} \quad (1.37)$$

$$[E_y] = \sum_k E_{ky} = E_{ry} + jE_{iy} \quad (1.38)$$

El valor eficaz de las componentes reales e imaginarias, horizontales y verticales  $E_{rx}$ ,  $E_{ix}$ ,  $E_{ry}$ ,  $E_{iy}$ , representan en su totalidad el campo vectorial.

El valor eficaz del campo eléctrico viene dado por:

$$E_{rms} = \sqrt{E_{rx}^2 + E_{ix}^2 + E_{ry}^2 + E_{iy}^2} \quad (1.39)$$

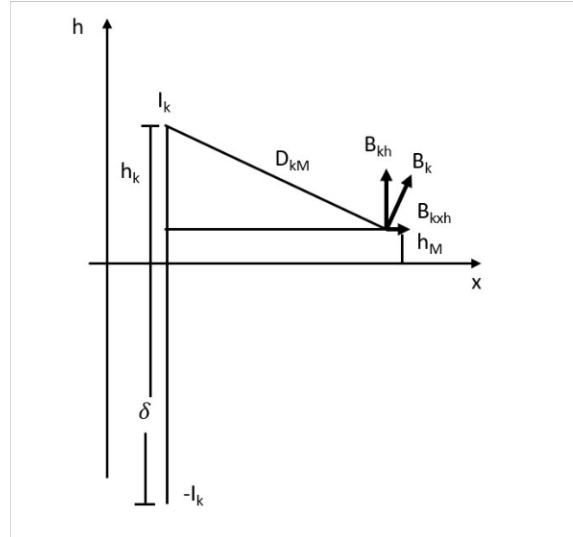
### 1.4.3.2 Campo magnético [13]

En la mayoría de los casos, el campo magnético generado por las líneas de transmisión puede calcularse con suficiente precisión mediante un análisis bidimensional simplificado.

Los supuestos en los que se basa este análisis son los siguientes:

- Los campos eléctricos en las proximidades de las líneas de transmisión de corriente alterna se calculan suponiendo que no hay carga espacial, estando las cargas sólo en las superficies de los conductores, en el suelo y en los objetos conectados a tierra. La corona, cuando está presente, crea una carga espacial cerca del conductor que afecta al campo eléctrico, pero de forma insignificante, incluso con mal tiempo cuando la corona es mayor
- Los conductores forman líneas rectas infinitamente largas y paralelas entre sí.
- La tierra es un mal conductor de los campos magnéticos. La presencia de la tierra puede simularse mediante imágenes de los conductores colocadas a una profundidad compleja, que puede aproximarse a una profundidad real. La profundidad de la imagen suele ser tan grande que, para los cálculos cerca de las líneas de transmisión, las imágenes pueden despreciarse sin pérdida de precisión.
- Una vez que la presencia de los conductores, el campo magnético que varía en el tiempo generado por una línea de transmisión puede tratarse como cuasiestático, como un campo esencialmente estático porque la longitud de onda es mucho mayor que las dimensiones consideradas.

Considere la sección transversal de un conductor sobre la tierra que se muestra en la Figura 1.11.



**Figura 1.11** Campo magnético de un conductor de longitud infinita sobre la tierra [13]

Utilizando un sistema de coordenadas ortogonales, x (distancia lateral) y h (altura sobre el suelo), como se indica en la figura 1.10, la magnitud del campo magnético,  $B_{kr}$ , y de sus componentes horizontales y verticales,  $B_{krx}$  y  $B_{krh}$ , vienen dadas por:

$$[B_{kr}] = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr}}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad (1.40)$$

$$[B_{krx}] = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr} (X_M - X_k)}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad (1.41)$$

$$[B_{krh}] = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr} (h_M - h_k)}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}} \quad (1.42)$$

Hay que tener en cuenta que no hay campo en la dirección paralela al conductor.

Los mismos cálculos se realizan para calcular la parte imaginaria del campo magnético,  $B_{ki}$ , y las componentes horizontal y vertical,  $B_{kix}$  y  $B_{kih}$ . La componente imaginaria de la corriente,  $I_{ki}$ , debe utilizarse en lugar de la componente real.

Si una línea eléctrica contiene n conductores, las componentes reales e imaginarias del campo magnético horizontal y vertical en el punto M se calculan por separado para cada conductor y se suman. los campos magnéticos reales e imaginarios, horizontales y verticales resultantes en el punto M son:

$$B_{rx} = \sum_{k=1}^n B_{krx} \quad B_{rh} = \sum_{k=1}^n B_{krh} \quad B_{ix} = \sum_{k=1}^n B_{kix} \quad B_{ih} = \sum_{k=1}^n B_{kih} \quad (1.43)$$

Un medidor de campo magnético colocado en el punto M con su sonda orientada para medir la componente horizontal medirá un campo magnético,  $B_x$ , dado por:

$$B_x = \sqrt{B_{rx}^2 + B_{ix}^2} \quad (1.44)$$

Del mismo modo, la componente vertical del campo magnético viene dada por:

$$B_h = \sqrt{B_{rh}^2 + B_{ih}^2} \quad (1.45)$$

El campo magnético resultante

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_h^2} = \sqrt{B_{rx}^2 + B_{ix}^2 + B_{rh}^2 + B_{ih}^2} \quad (1.46)$$

Si las corrientes utilizadas son valores eficaces, el campo resultante también es un valor eficaz.

#### 1.4.5 RADIO INTERFERENCIA [13]

La interferencia de radio (RI) es cualquier efecto en la recepción de señales de radio deseadas, debido a cualquier perturbación no deseada dentro de la frecuencia de radio. La interferencia de radio es una preocupación sólo con la recepción de radio de amplitud modulada (AM) porque la radio de frecuencia modulada (FM) es inherentemente menos sensible a las perturbaciones. Las interferencias radioeléctricas se evalúan comparando el nivel de ruido con la señal radioeléctrica, es decir, la relación señal/ruido (SNR), en el borde de la franja de servidumbre, y para una frecuencia normalmente de 0,5 o 1 MHz. El nivel de RI se expresa en dB por encima de 1uV/m.

Como la RI depende de las condiciones climáticas, es apropiado representar el nivel de RI en términos estadísticos para cada condición climática, como los niveles L5 y L50 con buen tiempo o lluvia.

Existen varias fórmulas empíricas en la literatura técnica, y la mayoría de ellas se han resumido en (IEEE 1979). Al igual que el método analítico tradicional, la mayoría de los métodos empíricos están limitados por el uso de la aproximación del campo cuasiestático. Esto, por supuesto, significa que no pueden utilizarse por encima de 2 MHz y a distancias superiores a  $50/f$  metros, donde  $f$  es la frecuencia en MHz. Hay una fórmula

empírica que ha resultado ser válida hasta 30 MHz y a distancias lejanas de la línea. Esta fórmula fue desarrollada en la Bonneville Power Administration.

$$RI = 46 + 120 \log_{10}\left(\frac{E_{max}}{17.56}\right) + 40 \log_{10}\left(\frac{2r}{3.51}\right) \quad (1.47)$$

Donde:

$RI$  = Radiointerferencia,  $[dB \left(\frac{1\mu V}{m}\right)]$

$E_{max}$  es el gradiente máximo del haz de conductores en,  $[kVrms/cm]$

$r$  es el radio del conductor en,  $[cm]$

Esta fórmula proporciona una predicción del ruido medido desde cualquier conductor de fase utilizando un receptor de cuasi-pico de la norma CISPR sintonizado a 1 MHz y una antena de bucle horizontal a 1 m por encima del suelo y a 15 m del conductor de fase en condiciones meteorológicas normales. Para la interferencia electromagnética media durante el mal tiempo, que es una condición de conductor húmedo debido a la lluvia, la niebla, la bruma, la nieve, entre otros, se sugiere añadir 17 dB a la ecuación 1.33.

Se pueden añadir otros términos a la ecuación 1.33 para tener en cuenta los valores de la frecuencia de medición, la altitud sobre el nivel del mar y las distancias laterales que difieren de los valores de referencia.

El término añadido para corregir una frecuencia de medición  $f$  (en MHz) diferente de 1 MHz es:

$$RI_f = 10[1 - (\log(10.f))^2] dB \quad (1.48)$$

La altitud de referencia para la ecuación 1.47 es el nivel del mar. La corrección aditiva utilizada para cualquier altitud  $A$  en km sobre el nivel del mar es:

$$RI_q = \frac{A}{0.3} dB \quad (1.49)$$

El término utilizado para corregir las distancias diferentes a 15 m del conductor es:

$$RI_D = -C_1 + C_2 dB \quad (1.50)$$

Donde:

$C_1$  es una constante para la línea de referencia y  $C_2$  es una constante para la nueva línea para la que se está calculando la interferencia electromagnética.

Los valores de  $C_1$  y  $C_2$  se pueden determinar a partir de:



$$C_i = 10 \log(DW^2 + ESU^2 + EIND^2) \text{ dB} \quad (1.51)$$

$$i = 1.2$$

Donde  $DW$  es la componente de onda directa,  $ESU$  es la componente de onda superficial y  $EIND$  es la componente de campo de inducción. Estas tres componentes se calculan como sigue:

$$DW = \frac{H}{k_0 D}, \quad \text{para } D \leq \frac{12Hh_a}{\lambda} \quad (1.52)$$

$$DW = \frac{H}{k_0 D} \cdot \frac{12Hh_a}{\lambda D}, \quad \text{para } D > \frac{12Hh_a}{\lambda}$$

$$ESU = \frac{g(\Delta)H}{k_0 D} \quad (1.53)$$

$$EIND = \frac{H}{(k_0 D)^2} \quad (1.54)$$

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (1.55)$$

$$g(\Delta) = \frac{2 + 0.3\Delta}{2 + \Delta + 0.6\Delta^2} \quad (1.56)$$

$$\Delta = \frac{52.5D}{\sigma_g \lambda^2} \quad (1.57)$$

Donde:

$H$  es la altura del conductor en, [m]

$h_a$  es la altura de la antena en, [m]

$D$  es la distancia radial entre el conductor y la antena en, [m]

$f$  es la frecuencia en, [MHz]

$\lambda$  es la longitud de onda en, [m]

$\sigma_g$  es la conductividad del suelo en, [mS/m].

Los parámetros de referencia para el cálculo de  $C_1$  son:

$$D_1 = 21.04 \quad (1.58)$$

$$EIND_1 = \frac{70.55}{f^2} \quad (1.59)$$

$$f(\Delta_1) = \frac{2 + 0.3\Delta_1}{2 + \Delta + 0.6\Delta_1^2} \quad (1.60)$$

$$DW_1 = \frac{31.1}{f} \quad (1.61)$$

$$ESU_1 = \frac{31.1 f(\Delta_1)}{f} \quad (1.62)$$

Donde:

El valor de referencia para  $\sigma_g = 4\text{mS/m}$

La interferencia de radio para cada fase se calcula utilizando esta fórmula. El nivel de radiointerferencia es el valor más alto a la distancia a la que se realiza el cálculo. Es decir, no se suman los niveles de radiointerferencia calculados de cada fase.

### **Límites para RI**

Para el caso del Ecuador al igual que en el caso de del RA la empresa la empresa pública CEELEC EP – TRANSELECTRIC definió los valores límite de RA dentro de la franja de servidumbre.

**Tabla 1.2** Valores de RI en el límite de la franja de servidumbre [8]

<b>Condición</b>	<b>RI [d/μV/m]</b>
Tiempo Seco	35.5
Relación Señal-Ruido(dB/μV/m)	30.7
Clasificación, de acuerdo con EPR, de la calidad de la recepción	A5 – recepción razonablemente buena (30 dB)

### **1.4.6 RUIDO AUDIBLE [4] [13]**

El ruido audible emana de las variaciones de la presión del aire causadas por las descargas de Corona, durante el semiciclo positivo de la tensión alterna, El ruido audible es el resultado de numerosas descargas de Corona no correlacionadas, lo que da lugar a un espectro de ruido de banda ancha que cubre toda la gama de frecuencias audibles. El

ruido de las líneas de CA también contiene un componente de zumbido (100 o 120 Hz) causado por el movimiento de la carga espacial cerca del conductor, correlacionado con la frecuencia de la potencia.

El oído humano tiene una respuesta diferente a cada una de estas frecuencias, por lo que se utilizan redes de filtros de ponderación para medir la respuesta humana. La más común es la red de ponderación A, en cuyo caso el nivel de ruido audible se indica como dBA por encima de 20 uPa.

#### 1.4.6.1 Límites para RA

Actualmente no hay una normativa en donde se definan los valores máximos de ruido audible producidos por una LT, en algunos casos se han determinado límites según las necesidades de la población, en el caso del Ecuador la empresa pública CEELEC EP – TRANSELECTRIC desarrollo un “Instructivo para selección de ruta para líneas de transmisión” donde definen los límites para Ruido Audible, Radiointerferencia y campos electromagnéticos.

**Tabla 1.3** Valores promedio de RA en ciertas condiciones [8]

Condición	RA [dBA]
Lluvia ligera	43.2
Periodo nocturno	50
Periodo diurno	60

CIGRE menciona que los criterios de diseño de las líneas de CA se definen en base a la evaluación subjetiva obtenida de un grupo de personas.

Quejas bajas: <52 dBA (equivalente al ruido de una oficina comercial)

Moderado: (algunas) quejas= 52-58 dBA

Muchas quejas:>58 dBA

Además, las condiciones meteorológicas deben establecerse y en algunos países se define que el ruido máximo que no debe superarse con lluvia media es de 42 dBA (media).

### **Cálculo del ruido audible (RA) [13]**

El nivel del RA depende de varios factores entre estos, las condiciones ambientales, por esta razón no existe un nivel de RA estandarizado. Normalmente se usan dos niveles: nivel L50 y nivel L5.

L50: es el nivel de ruido audible que es excedido el 50% de veces durante la lluvia, generalmente durante un año.

L5: es el nivel de ruido audible que es excedido el 5% de veces durante la lluvia tiempo total. Para el análisis de condiciones de lluvia pesada se utiliza el nivel L5.

Para el cálculo de RA se han desarrollado formulas empíricas, que se detallan a continuación:

$$RA = 55 \log(d) + 120 \log(E) + \frac{Alt}{300} + k \log(n) - 11.4 \log(D) + AN_0 \quad (1.63)$$

Aplicación: Para todo tipo de geometrías

Ruido Medido:  $L_{50}$  lluvia

Donde:

RA= Ruido audible para cada fase, [dBA]

E=Gradiente promedio máximo, [kVrms/cm]

n= Número de subconductores por fase

d= Diámetro del conductor, [cm]

D= Distancia desde la línea al punto de medición

Alt= Altura sobre el nivel del mar, [m]

$AN_0$  y  $k$ = constantes que dependen del número de conductores

Los valores de las contantes  $AN_0$  y  $k$ , se observan en la Tabla 1.4.

**Tabla 1.4** Valores de las contantes K y  $AN_0$ , [13]

<b>Número de conductores/fase</b>	<b><math>AN_0</math></b>	<b>K</b>
$n < 3$	-115.4	0
$n \geq 3$	-128.4	26.4

El RA total es calculado de acuerdo con la ecuación:

$$RA_{Tot} = 10 \log \sum_{i=1}^P 10^{\frac{RA_i}{10}} \quad (1.64)$$

Donde:

RA= Ruido audible de cada fase

P= Número de fases

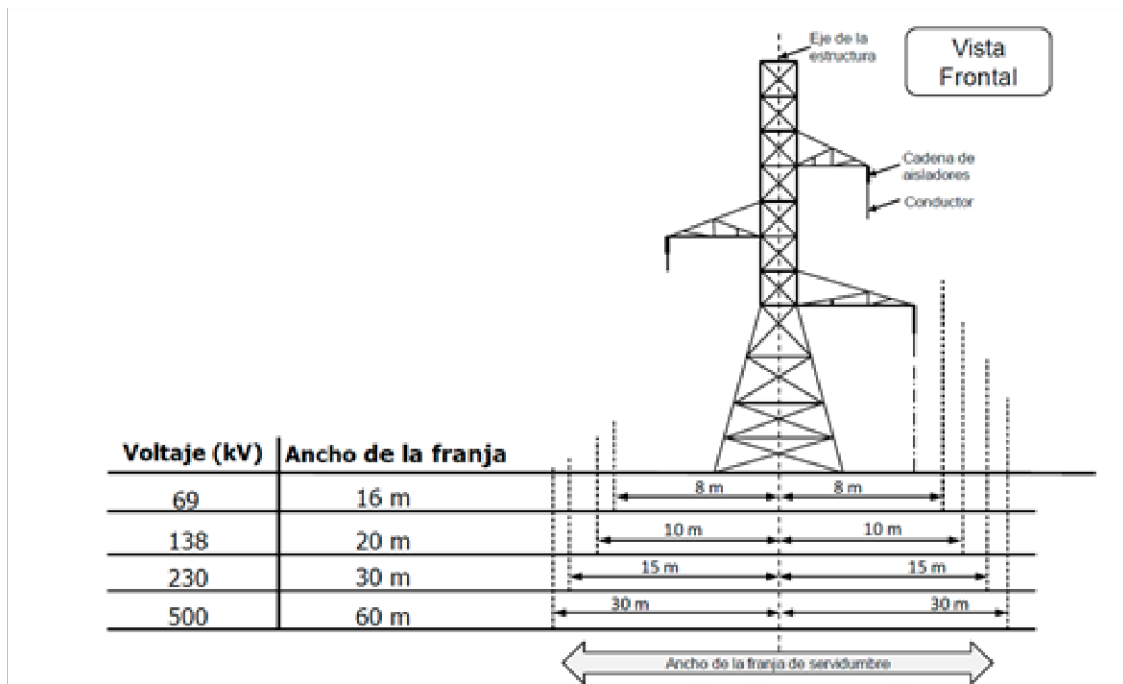
Si se desea calcular para un nivel L<sub>5</sub>, se debe usar la siguiente corrección

$$RA_5 = RA_{50} + 3.5 \quad (1.65)$$

Donde:

RA<sub>5</sub> = Ruido audible para nivel L<sub>5</sub>

RA<sub>50</sub> = Ruido audible para nivel L<sub>50</sub>



**Figura 1.12** Ancho de la franja de servidumbre para los distintos niveles de voltaje

El punto de medición debería ser en el límite de la franja de servidumbre, en la Figura 1.12, se muestran los límites de la franja de servidumbre para los distintos niveles de voltaje en el Ecuador.

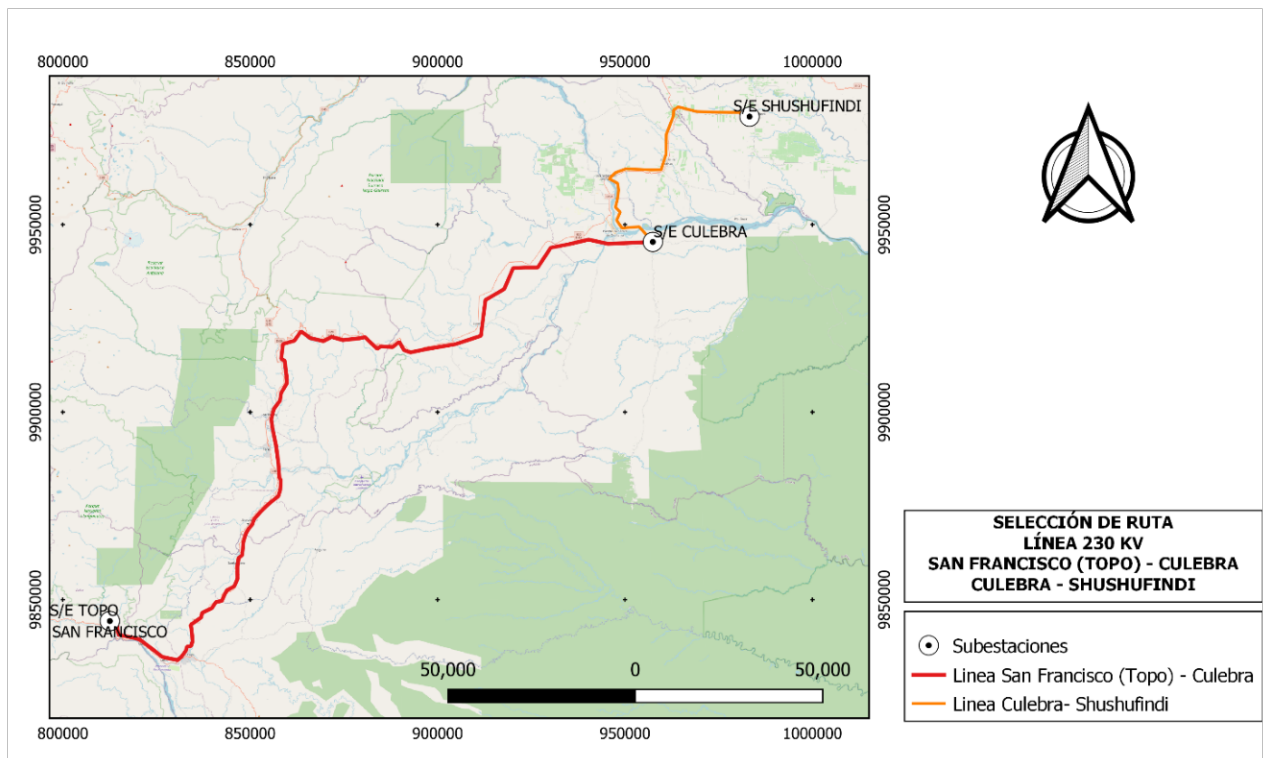
## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla en procedimiento realizado para el diseño eléctrico de la línea de transmisión doble circuito a 230 kV San Francisco – Culebra– Shushufindi, basado en el estudio de compatibilidad electromagnética.

### 2.1 SELECCIÓN PRELIMINAR DE LA RUTA

Según los criterios mencionados en la sección 1.4.2.2 trazó una ruta preliminar que atraviesa las provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Orellana con la finalidad de conectar las subestaciones Topo, Culebra y Shushufindi, de esta manera se tienen dos tramos principales de la línea, Línea Topo-Culebra con una distancia aproximada de 250 km y Culebra-Shushufindi con una distancia aproximada de 40 km.

Con ayuda de un sistema de información geográfica se trazó la ruta, donde se definen los vértices, se evitó en lo posible el cruce de carreteras principales, centros poblados, zonas protegidas y el cruce de ríos. En la Figura 2.1, se muestra una vista preliminar de la ruta.



**Figura 2.1** Mapa de la ruta preliminar de las líneas San Francisco (Topo) - Culebra, Culebra-Shushufindi

## 2.2 MODELADO DE LA LÍNEA ELÉCTRICA SAN FRANCISCO – CULEBRA– SHUSHUFINDI EN BASE A LA POTENCIA USANDO EL SOFTWARE ATP Y MATLAB

Con la ayuda del software de simulación ATP, se realizó un modelo de la línea San Francisco – Culebra – Shushufindi, con diferentes tipos de torres y conductores con la finalidad de obtener la matriz de capacitancias para ser usada posteriormente en el software Matlab para los diferentes cálculos realizados en este proyecto. Se desarrolló una interfase gráfica para el cálculo de gradiente crítico, gradiente máximo, campo eléctrico, campo magnético, ruido audible, radiointerferencia y pérdidas por corona. Todo esto en función de las características físicas del cable, la geometría de la torre y las condiciones ambientales de la zona.

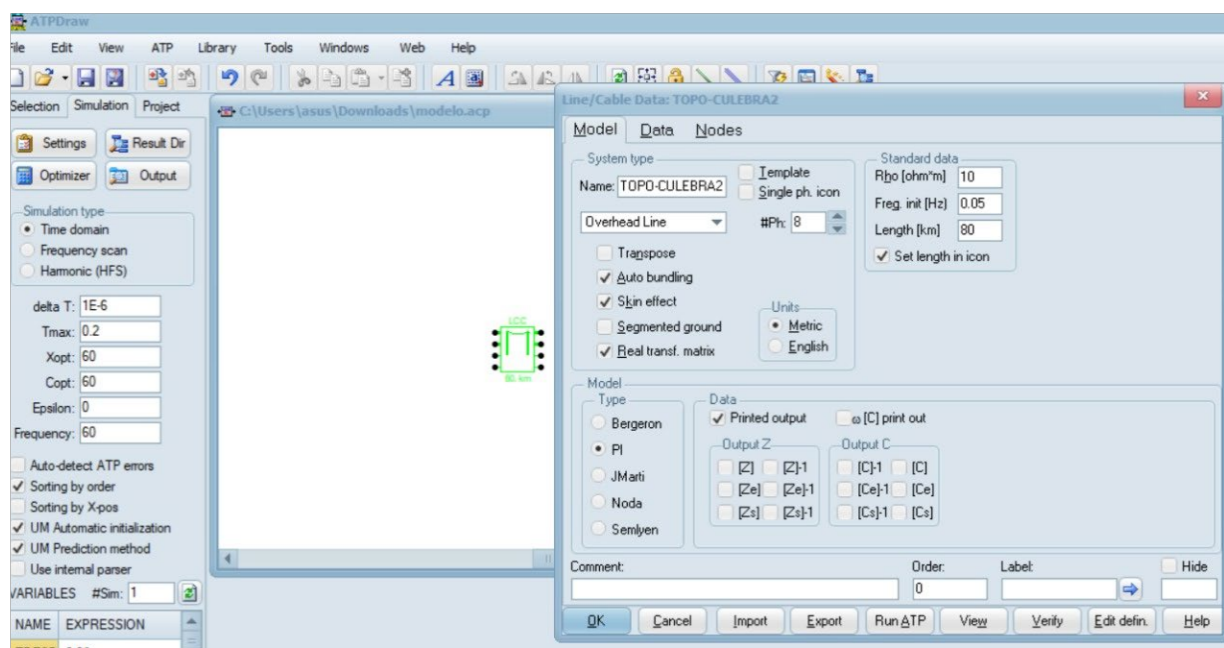


Figura 2.2 Modelo de la línea San Francisco Culebra Shushufindi en el software ATP

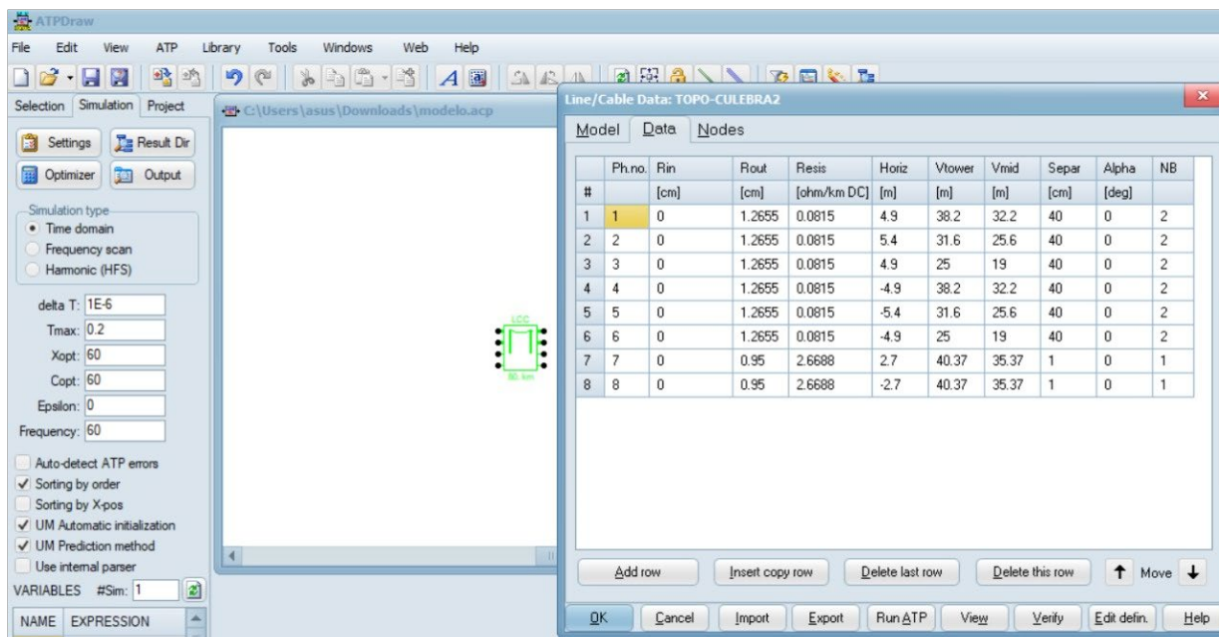


Figura 2.3 Parámetros para el modelado de la línea SL2, en el software ATP

## 2.2.1 CALCULO DE LA CORRIENTE TRANSMITIDA POR LA LÍNEA

Por la línea San Francisco – Culebra – Shushufindi, se transmitirá una Potencia de 300 MVA, y con el voltaje definido a 230kV se debe calcular la corriente con la finalidad de poder definir opciones de conductores.

$$S = \sqrt{3}VI$$

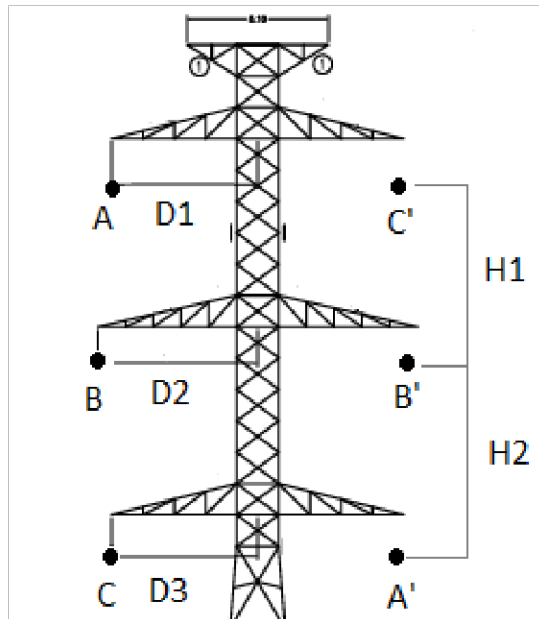
## 2.2.2 ANÁLISIS DE POSIBLES CONDUCTORES

En esta sección se analiza las posibles configuraciones de conductores, al analizar la capacidad de transporte de corriente de los posibles conductores con la corriente que será transmitida por la línea calculada en la sección 2.2.1.

## 2.2.3 DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA TORRE

La línea para diseñar es una línea de transmisión de 230 kV a doble circuito. El SNT está construido con ciertos diseños de torres estándar. Por lo que para este trabajo se seleccionó torres dentro de este criterio, las cuales son: AL2, SP2, AR2, SL2. Se muestran los diagramas de las torres mencionadas en el Anexo 1. En la Figura 2.3 se muestra el diagrama general de la separación de los conductores en la Torre. En la Tabla 2.1, se muestra la separación de los conductores en cada tipo de torre.





**Figura 2.4** Diagrama general de la separación de los conductores en la Torre

**Tabla 2.1** Separación entre conductores para los distintos tipos de torres

TIPO TORRE	Distancia 1 [cm]	Distancia 2 [cm]	Distancia 3 [cm]	Altura 1 [cm]	Altura 2 [cm]	DMG [cm]
AL2	525	575	525	700	700	704.368
SP2	525	575	525	675	675	685.099
AR2	500	550	500	800	800	770.503
SL2	525	575	525	675	675	685.099

## 2.2.4 CÁLCULO DEL GRADIENTE MÁXIMO Y CRÍTICO

### 2.2.4.1 Gradiente máximo

El cálculo del gradiente máximo se puede realizar con la Ecuación 1.25, para este diseño se analizaron tres casos, cuyos datos se muestran en la Tabla 2.2.

$$E = E_{sub} \left[ 1 + \frac{2 * (n - 1) r}{S} * \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \right]$$

**Tabla 2.2** Valores usados en cada caso de estudio

Caso	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tipo de conductor	ACAR 750	ACAR 1200	ACAR 750
Diámetro del conductor [cm]	2,531	3,202	2,531
N	1	1	2
s [cm]	-	-	45,7
r <sub>eq</sub> [cm]	1,265	1,601	10,0618

Para determinar los valores del gradiente medio se debe aplicar la ecuación 1.26.

$$E_{sub} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{U}{n * r * \ln\left(\frac{DMG}{r_{eq}}\right)}}$$

Donde el valor de U es igual a 230 kV, para todos los casos. Los valores de la DMG están dados para cada tipo de torre y se muestran en la Tabla 2.1.

#### 2.2.4.2 Gradiente crítico

El gradiente crítico de inicio de la Corona viene dado por la ecuación 1.27:

$$E_c = E_0 \delta m \left[ 1 + \frac{k}{\sqrt{\delta r}} \right]$$

Se analizaron dos casos, con distintos valores de  $m_c$  y  $m_t$ , de acuerdo con la Tabla 1.2 se establecieron los siguientes valores.

$$m = m_c * m_t$$

**Caso 1** (Ambiente húmedo y conductor nuevo)

$$m_c = 0.9, m_t = 0.8, m = 0.72$$

**Caso 2** (Ambiente húmedo y conductor nuevo)

$$m_c = 0.9, m_t = 0.2, m = 0.18$$

Para determinar la densidad relativa del aire se tiene la ecuación 1.28

$$\delta = \frac{0.3921P}{273 + t}$$

La presión atmosférica a diferentes alturas puede ser calculada con la ecuación 1.29.

$$P = 10^{\log(760) - \frac{y}{18336}}$$

La temperatura del aire a distintas alturas puede ser estimada por la ecuación 1.30:

$$t = 25 - \frac{y}{200}$$

Se calculo el valor del gradiente crítico para distintos valores de altura, desde los 0 m.s.n.m hasta los 3000 m.s.n.m, con una variación de 100 m.

#### 2.2.5 DETERMINACIÓN DEL EFECTO CORONA

Como se describió en la Sección 1.4.3, para que exista Efecto Corona el valor del gradiente promedio máximo debe superar el valor el gradiente crítico.

$$Si E > E_c, existe efecto corona$$

Se determinó si existe efecto corona en distintos casos, como condiciones ambientales, msnm, configuración de la torre y número de conductores.

Los valores del gradiente máximo, gradiente crítico y la determinación del efecto corona para cada torre y en distintas condiciones ambientales se muestran en el Anexo 2.

### 2.2.6 CÁLCULO DE PERDIDAS POR EFECTO CORONA

En el caso del que gradiente máximo supere al gradiente crítico se produce el efecto corona en el conductor, debido a este efecto se producen pérdidas de potencia. Para determinar las pérdidas por efecto corona se aplica la Ecuación 1.31

$$P = \frac{241 * 10^{-5}}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{DMG}} \left[ \ln \frac{DMG}{r_{eq}} \right]^2 r^2 (E - E_c)^2$$

La frecuencia estándar que usa en el SNI de 60 Hz. Además, las pérdidas por efecto corona dependen principalmente del radio del conductor, la distancia media geométrica según el tipo de torre, el radio del conductor y la densidad relativa del aire y las condiciones ambientales definidas.

### 2.2.7 CÁLCULO DE LOS NIVELES DE RADIO INTERFERENCIA

El cálculo de la RI para cada conductor se realiza con la Ecuación 1.47, que viene dada para una frecuencia de 1 MHz y una distancia de 15 m del conductor.  $E_{max}$  es el valor del gradiente máximo.  $r$  es el radio del conductor.

$$RI = 46 + 120 \log_{10} \left( \frac{E_{max}}{17.56} \right) + 40 \log_{10} \left( \frac{2r}{3.51} \right)$$

El término añadido para corregir una frecuencia de medición  $f$  (en MHz) diferente de 1 MHz es la ecuación 1.48

$$RI_f = 10[1 - (\log(10. f))^2] dB$$

El factor de corrección para una altura distinta a la del nivel del mar es calculado con la ecuación 1.49. Para el caso de estudio se realizó cálculos desde 0 a 3000 msnm.

$$RI_q = \frac{A}{0.3} dB$$

El término utilizado para corregir las distancias radiales de cada conductor está expresado con la Ecuación 1.50. La distancia radial depende de la configuración de cada tipo de torre, ya que el ancho de brazos y la altura es distinta para cada Torre. Se muestra el procedimiento en el Anexo 4.

$$RI_D = -C_1 + C_2 \text{ dB}$$

Donde:

C1 es una constante para la línea de referencia y C2 es una constante para la nueva línea para la que se está calculando la interferencia electromagnética.

Los valores de C1 y C2 se pueden determinar a partir de la ecuación 1.51.

$$C_i = 10 \log(DW^2 + ESU^2 + EIND^2) \text{ dB}$$

Las ecuaciones necesarias para calcular C2 son las que se muestran a continuación, que dependen de la frecuencia, altura del conductor, altura del punto de medición y la conductividad del suelo.

$$DW = \frac{H}{k_0 D}, \quad \text{para } D \leq \frac{12Hh_a}{\lambda}$$

$$DW = \frac{H}{k_0 D} \cdot \frac{12Hh_a}{\lambda D}, \quad \text{para } D > \frac{12Hh_a}{\lambda}$$

$$ESU = \frac{g(\Delta)H}{k_0 D}$$

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$EIND = \frac{H}{(k_0 D)^2}$$

$$g(\Delta) = \frac{2 + 0.3\Delta}{2 + \Delta + 0.6\Delta^2}$$

$$\Delta = \frac{52.2D}{\sigma_g \lambda^2}$$

Los parámetros de referencia para el cálculo de C1 son:

$$D_1 = 21.4$$

$$EIND_1 = \frac{70.55}{f^2}$$

$$f(\Delta_1) = \frac{2 + 0.3\Delta_1}{2 + \Delta_1 + 0.6\Delta_1^2}$$

$$DW_1 = \frac{276.16}{\lambda^2}$$

$$ESU_1 = \frac{31.1 f(\Delta_1)}{f}$$

Donde:

El valor de referencia para  $\sigma_g = 4\text{mS/m}$ , que es calculado con un valor promedio de precipitaciones de lluvia.

## 2.2.8 CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO EN LOS LÍMITES DE LA FRANJA DE SERVIDUMBRE

Para calcular el campo eléctrico a cualquier distancia desde el conductor es necesario conocer las cargas de la línea, con ayuda del software ATP se realizó una simulación con diferentes tipos de torres y conductores para obtener sus respectivas matrices de capacitancia, y con la ecuación 1.32 se procedió a calcular el vector de cargas.

$$[Q] = [C][V]$$

Las ecuaciones las ecuaciones 1.33 y 1.34 sirven para descomponer el vector de cargas en sus componentes real e imaginaria

$$[Q_r] = [C][Q_r]$$

$$[Q_i] = [C][Q_i]$$

En la figura 1.9, se observa la distancia horizontal del conductor K y la altura sobre el suelo del punto de medición M, las mismas que se denominan como como  $X_M$  y  $H_M$ , respectivamente, mientras que  $H_K$  indica la altura del conductor.

Con las ecuaciones 1.35 y 1.36 se calcularon las componentes horizontales y verticales del campo eléctrico causadas por las cargas en el conductor K.

$$[E_{kx}] = \frac{(Q_{rk} + jQ_{ik})}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right]$$

$$[E_{ky}] = \frac{(Q_{rk} + jQ_{ik})}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{H_M - H_k}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{H_M + H_k}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right]$$

Las componentes verticales y horizontales del vector campo eléctrico se calcularon sumando las contribuciones de todos los conductores, que se indican en las ecuaciones 1.37 y 1.38.

$$[E_x] = \sum_k E_{kx} = E_{rx} + jE_{ix}$$

$$[E_y] = \sum_k E_{ky} = E_{ry} + jE_{iy}$$

El valor eficaz de las componentes reales e imaginarias, horizontales y verticales  $E_{rx}$ ,  $E_{ix}$ ,  $E_{ry}$ ,  $E_{iy}$ , representan en su totalidad el campo vectorial, que se representa con la ecuación 1.39.

$$E_{rms} = \sqrt{E_{rx}^2 + E_{ix}^2 + E_{ry}^2 + E_{iy}^2}$$

## 2.2.9 CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LOS LÍMITES DE LA FRANJA DE SERVIDUMBRE

El cálculo del campo magnético se lo realiza en el límite de la franja de servidumbre a 15 metros de distancia de la torre y 1 metro sobre el piso de acuerdo con la Figura 1.12.

Una vez calculadas las distancias y las corrientes de cada conductor se calcula la magnitud del campo magnético,  $B_{kr}$ , y de sus componentes horizontales y verticales,  $B_{krx}$  y  $B_{krh}$ , con las ecuaciones 1.41 y 1.42

$$[B_{krx}] = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr} (X_M - X_k)}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}}$$

$$[B_{krh}] = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr} (h_M - h_k)}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}}$$

Para el cálculo de las magnitudes imaginarias se repite el procedimiento utilizando la componente imaginaria de la corriente.

Para realizar el cálculo de la parte imaginaria del campo magnético,  $B_{ki}$ , y las componentes horizontal y vertical,  $B_{kix}$  y  $B_{kih}$ , se utiliza la componente imaginaria de la corriente,  $I_{ki}$ .

Para obtener las componentes reales e imaginarias del campo magnético horizontal y vertical en el punto M se calculan por separado para cada conductor y se suman. los campos magnéticos reales e imaginarios, horizontales y verticales con la Ecuación 1.43

$$B_{rx} = \sum_{k=1}^n B_{krx} \quad B_{rh} = \sum_{k=1}^n B_{krh} \quad B_{ix} = \sum_{k=1}^n B_{kix} \quad B_{ih} = \sum_{k=1}^n B_{kih}$$

Una vez calculadas las componentes reales, imaginarias, se calcula el campo horizontal y vertical resultantes con las ecuaciones 1.44 y 1.45

$$B_x = \sqrt{B_{rx}^2 + B_{ix}^2}$$

$$B_h = \sqrt{B_{rh}^2 + B_{ih}^2}$$

Finalmente, el campo magnético resultante se obtiene gracias a la ecuación 1.46.

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_h^2} = \sqrt{B_{rx}^2 + B_{ix}^2 + B_{rh}^2 + B_{ih}^2}$$

### 2.2.10 CÁLCULO DEL RUIDO AUDIBLE

Para calcular el RA se utiliza la Ecuación 1.63, que depende del gradiente máximo, el número de subconductores, el diámetro del conductor y la distancia del punto de medición.

$$RA = 55 \log(d) + 120 \log(E) + \frac{Alt}{300} + k \log(n) - 11.4 \log(D) + AN_0$$

Las constantes  $AN_0$  y  $k$ , están dados en la Tabla 1.4.

Para una línea de 230 kV, en el Ecuador la franja de servidumbre es de 15 m medidos desde el centro de la torre.

El RA total es calculado de acuerdo con la ecuación 1.64

$$RA_{Tot} = 10 \log \sum_{i=1}^P 10^{\frac{RA_i}{10}}$$

Si se desea calcular para un nivel  $L_5$ , se debe usar la ecuación 1.65

$$RA_5 = RA_{50} + 3.5$$

### 3. RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos del efecto corona, pérdidas por efecto corona, niveles de radiointerferencia, intensidad de campo eléctrico y campo magnético y ruido audible después del análisis realizado para diferentes tipos de conductor y tipo de torre.

Para todos los cálculos se utilizó el software Matlab y ATP, para de esta manera optimizar el procedimiento de cálculo realizado en este proyecto.

#### 3.1 OPCIONES DE CONDUCTORES

La corriente que la línea de transmisión San Francisco–Culebra-Shushufindi transportará es 753.06 A, en base a esta corriente se eligieron tres posibles conductores o configuraciones de conductores, de ser el caso.

$$S = \sqrt{3}VI$$

$$300000000 = \sqrt{3}(230000)I$$

$$I = 753.06$$

Se escogieron los conductores tipo ACAR 750 MCM y el tipo ACAR 1200 MCM, analizados en distintas configuraciones. Los conductores seleccionados son usados generalmente por CELEC EP TRANSELECTRIC, ya que actualmente el SNT cuenta con este tipo de conductores y los herrajes correspondientes para los mismos.

Las configuraciones analizadas se detallan a continuación:

Configuración 1: 1 conductor por fase de 750 MCM

Configuración 2: 1 conductor por fase de 1200 MCM

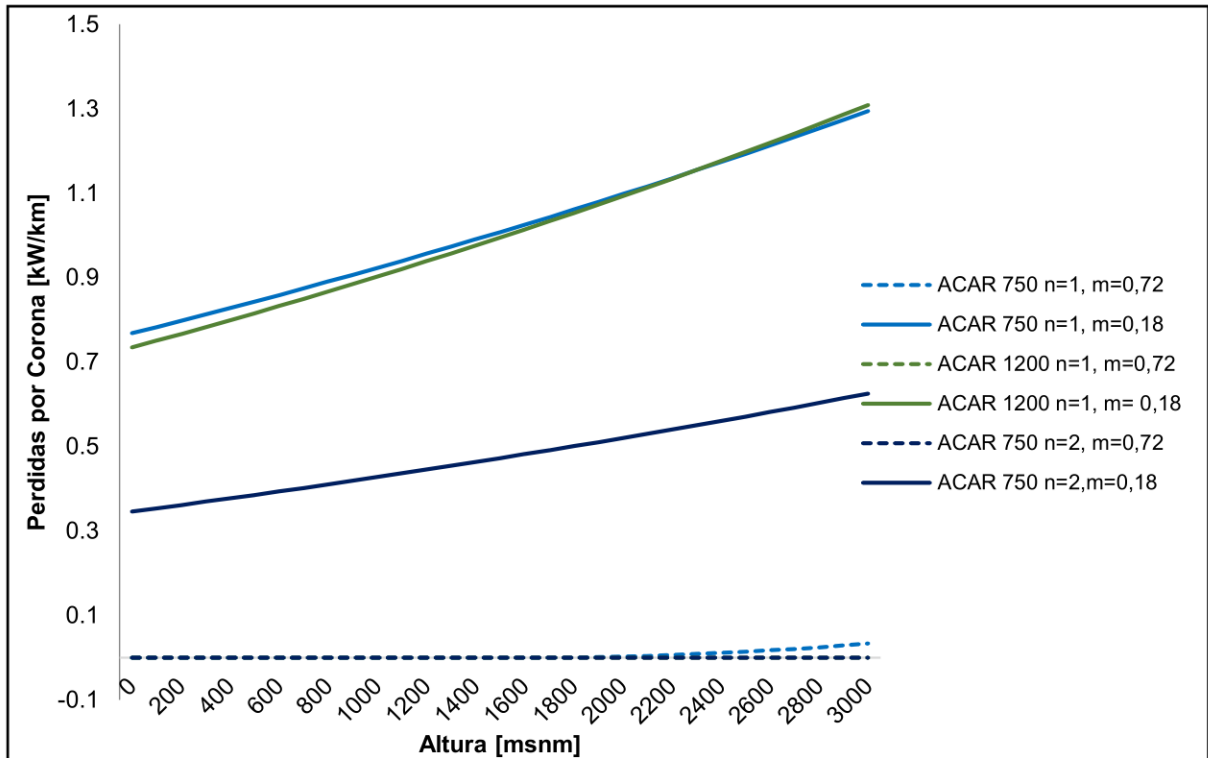
Configuración 3: 2 conductores por fase de 750 MCM, con una separación de 40 cm.

#### 3.2 RESULTADOS DE EFECTO CORONA

Ya que el gradiente crítico depende de las condiciones ambientales y el gradiente máximo del tipo de torre y conductor, en el Anexo 2 se realiza la comparación de todos los casos posibles y se determina las condiciones en las que se produce Efecto Corona.

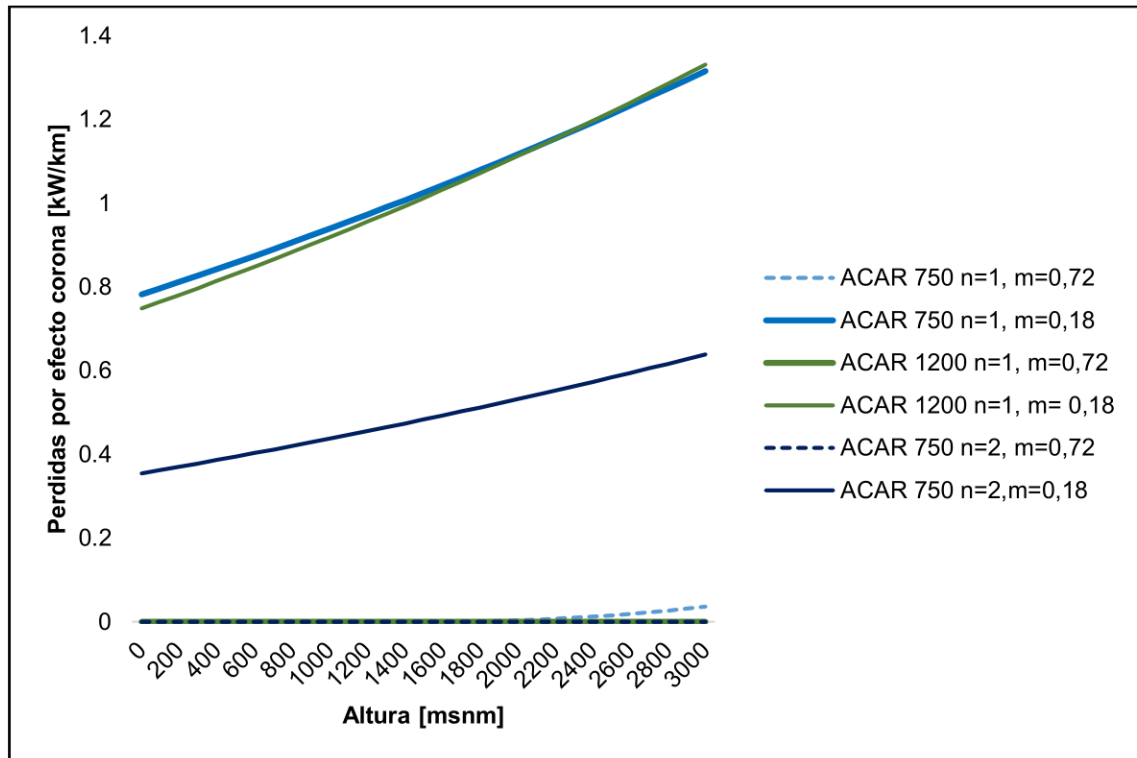


En condiciones de lluvia fuerte existe Efecto Corona en todos los tipos de torre y diferentes tipos de conductores, mientras que para condiciones de humedad los conductores 1x200 ACAR y 2x750 ACAR no presentan Efecto Corona hasta los 3000 msnm que es la altura máxima hasta donde se realizó este estudio. Por otro lado, el conductor 1x750 ACAR presenta Efecto Corona a partir de los 1600 m.s.n.m en las torres AL2, SP2, SL2 y a partir de los 1800 m.s.n.m en la torre AR2.



**Figura 3.1** Perdidas por efecto corona en función de la altura [msnm] para la torre AL2, para cada configuración del conductor y distintas condiciones ambientales

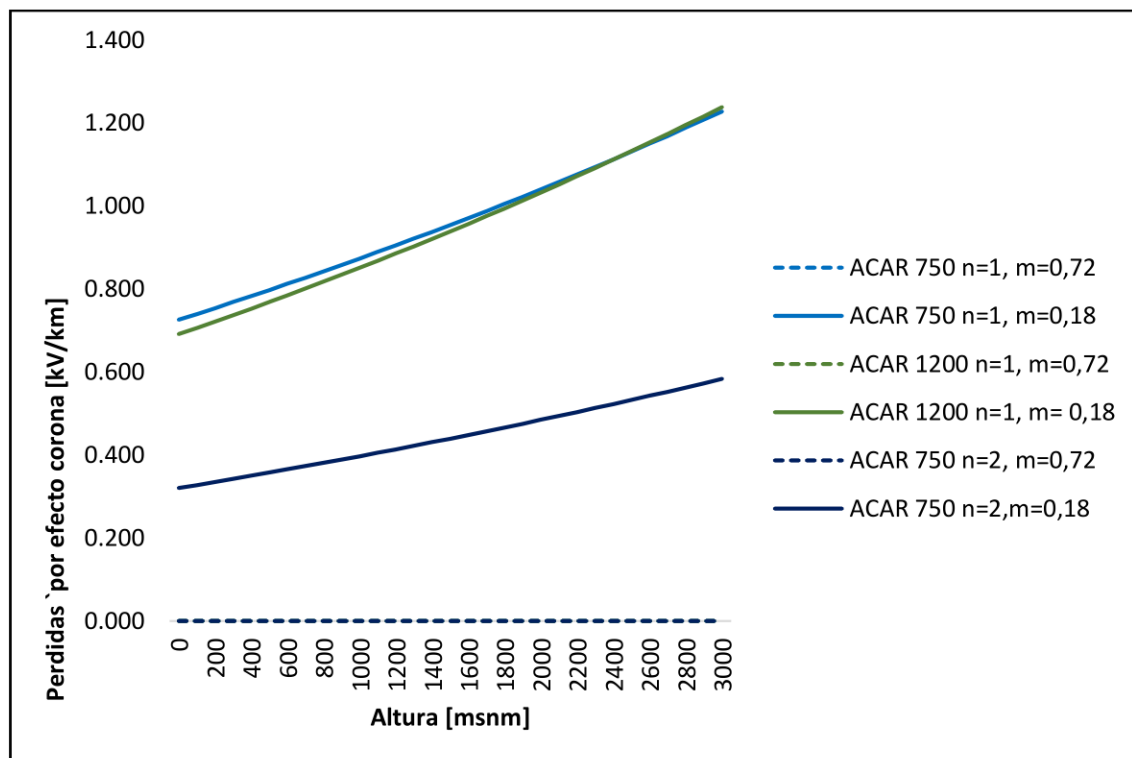
En la Figura 3.1 se muestra los resultados de las perdidas por efecto corona en la torre AL2, en condiciones de humedad y lluvia, para los diferentes tipos de conductores. Se observa que para condiciones de lluvia presentan perdidas por corona, mientras que para condiciones de humedad solo se tienen perdidas en el conductor 1x750 a partir de los 1600 msnm.



**Figura 3.2** Perdidas por efecto corona en función de la altura [msnm] para la torre SP2, para cada configuración del conductor y distintas condiciones ambientales

En la Figura 3.2 se muestra los resultados de las perdidas por efecto corona en la torre SP2, en condiciones de humedad y lluvia, para los diferentes tipos de conductores.

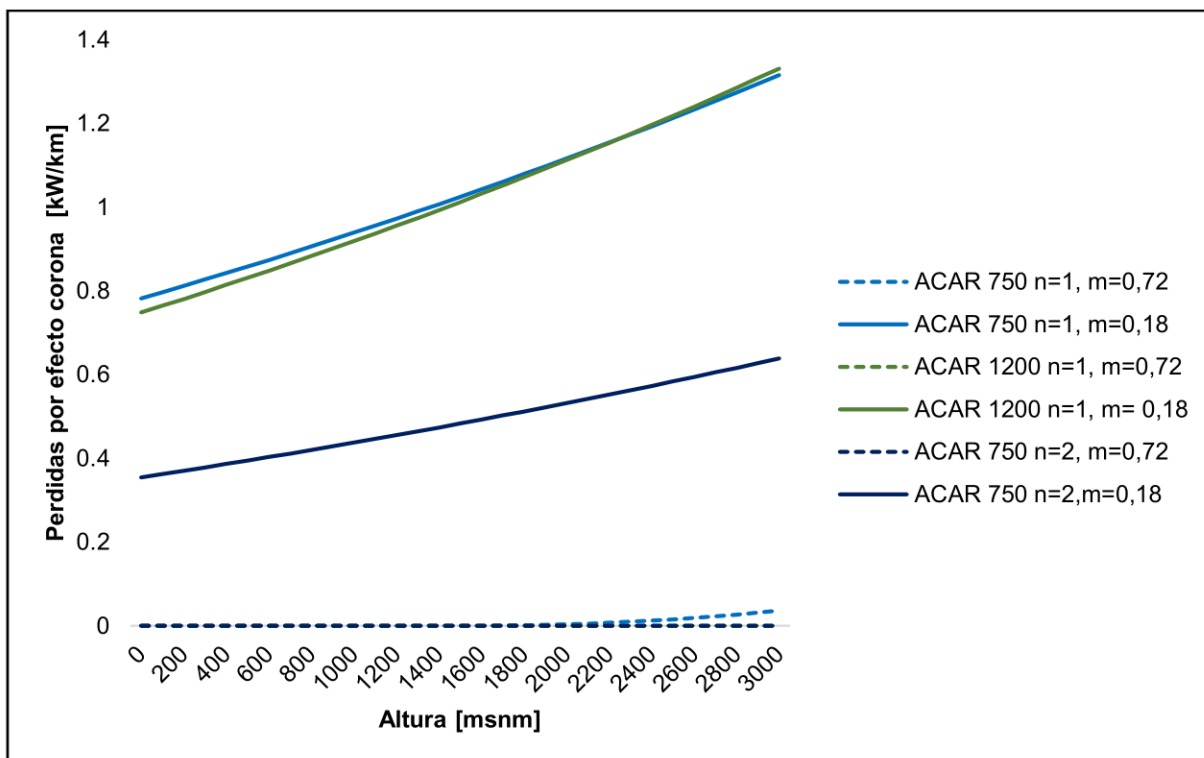
Se observa que para condiciones de lluvia presentan perdidas por corona, mientras que para condiciones de humedad solo se tienen perdidas en el conductor 1x750 a partir de los 1600 msnm.



**Figura 3.3** Perdidas por efecto corona en función de la altura [msnm] para la torre AR2, para cada configuración del conductor y distintas condiciones ambientales

En la Figura 3.3 se muestra los resultados de las perdidas por efecto corona en la torre AR2, en condiciones de humedad y lluvia, para los diferentes tipos de conductores.

Se observa que para condiciones de lluvia presentan perdidas por corona, mientras que para condiciones de humedad solo se tienen perdidas en el conductor 1x750 a partir de los 1800 msnm.



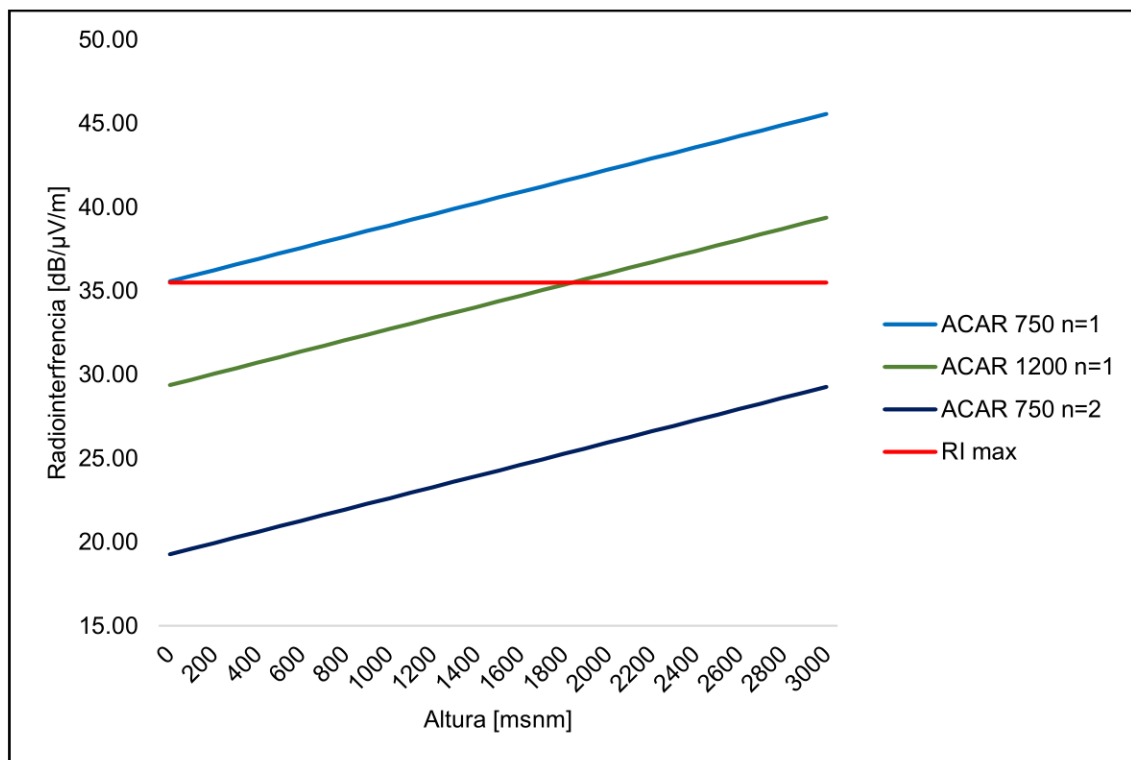
**Figura 3.4** Perdidas por efecto corona en función de la altura [msnm] para la torre SL2, para cada configuración del conductor y distintas condiciones ambientales

En la Figura 3.4 se muestra los resultados de las perdidas por efecto corona en la torre SL2, en condiciones de humedad y lluvia, para los diferentes tipos de conductores.

Se observa que para condiciones de lluvia presentan perdidas por corona, mientras que para condiciones de humedad solo se tienen perdidas en el conductor 1x750 a partir de los 1600 msnm.

### 3.2 RESULTADOS DE RADIOINTERFERENCIA

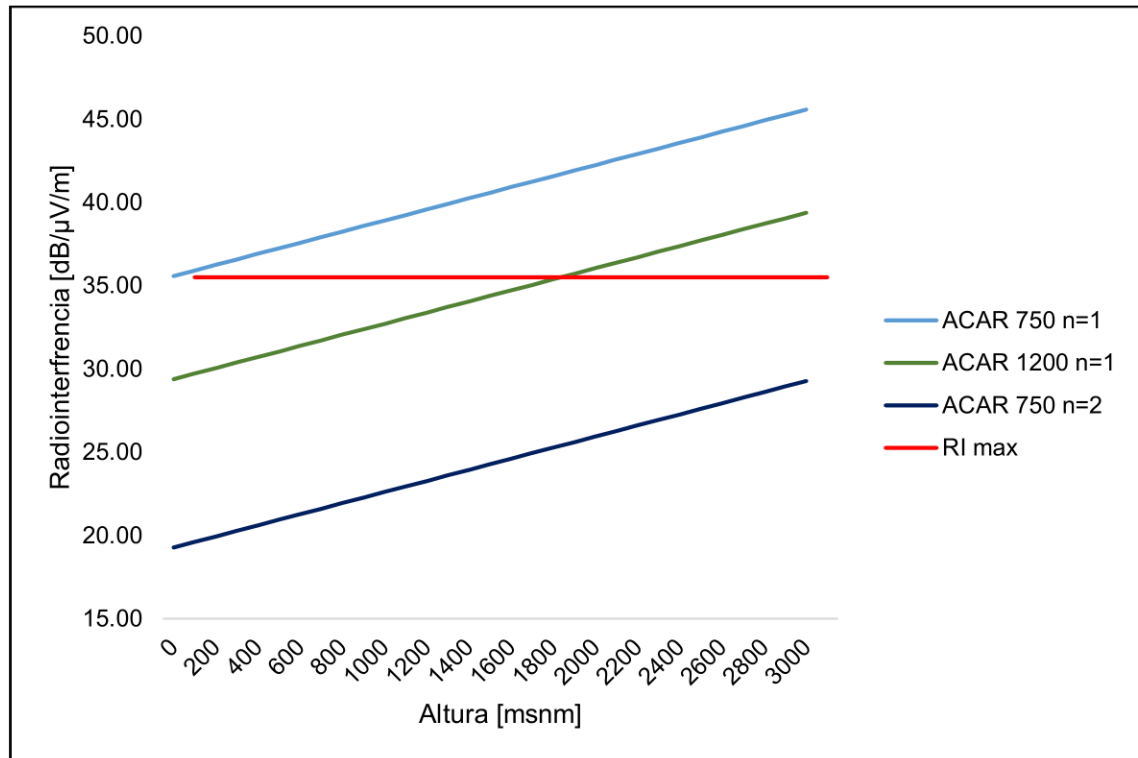
En la figura 3.5 se muestran los resultados de los calculos de Radio Interferencia para la torre AI2 y las tres opciones de conductores. Se observa que el conductor 1x750 ACAR supera el nivel maximo de Radio Interferencia desde los 0 msnm, mientras que el conductor 1x1200 ACAR sobrepasa el nivel maximo de Radio Interferencia a los 1800 msnm El mejor escenario se da con el conductor 2x750 ACAR ya que este no supera el nivel de Radio Interferencia.



**Figura 3.5** Resultados de Radio Interferencia a una frecuencia de 0,53 MHz en función de los msnm para la Torre AL2, según la configuración del conductor

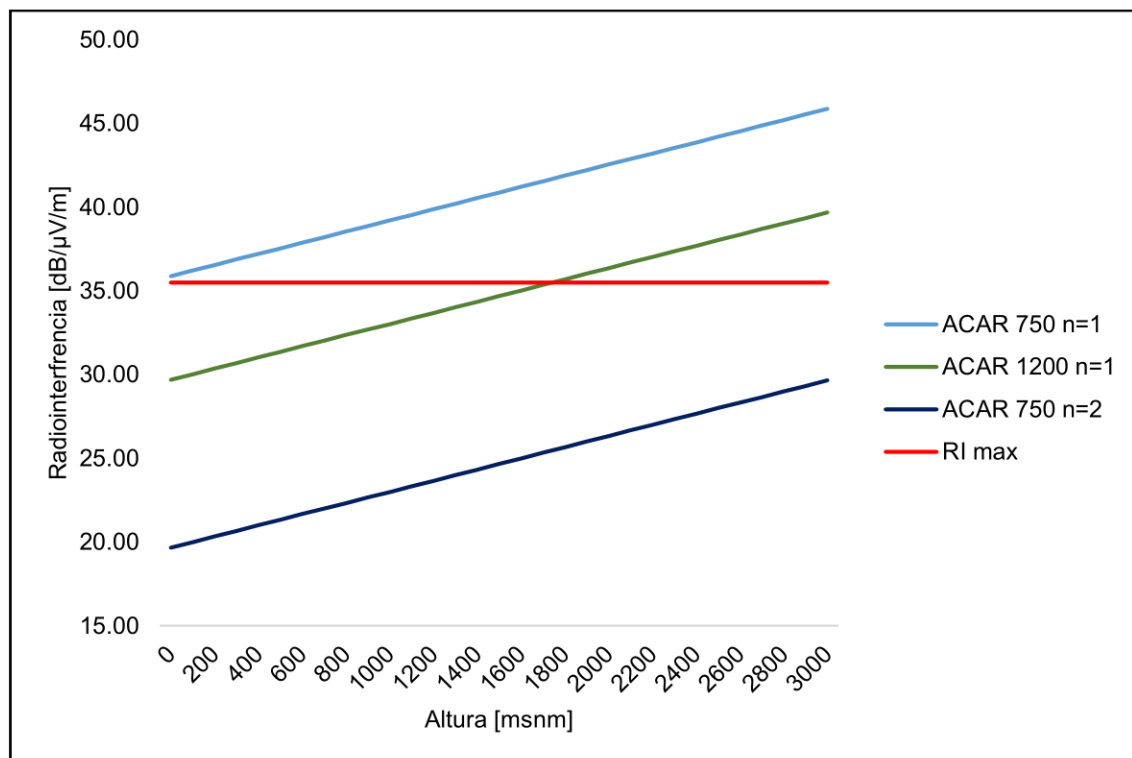
En la figura 3.6 se muestran los resultados de los calculos de Radio Interferencia para la torre SP2 y las tres opciones de conductores. Se observa que el conductor 1x750 ACAR supera el nivel maximo de Radio Interferencia desde los 0 msnm, mientras que el conductor 1x1200 ACAR sobrepasa el nivel maximo de Radio Interferencia a los 1800 msnm

El mejor escenario se da con el conductor 2x750 ACAR ya que este no supera el nivel de Radio Interferencia



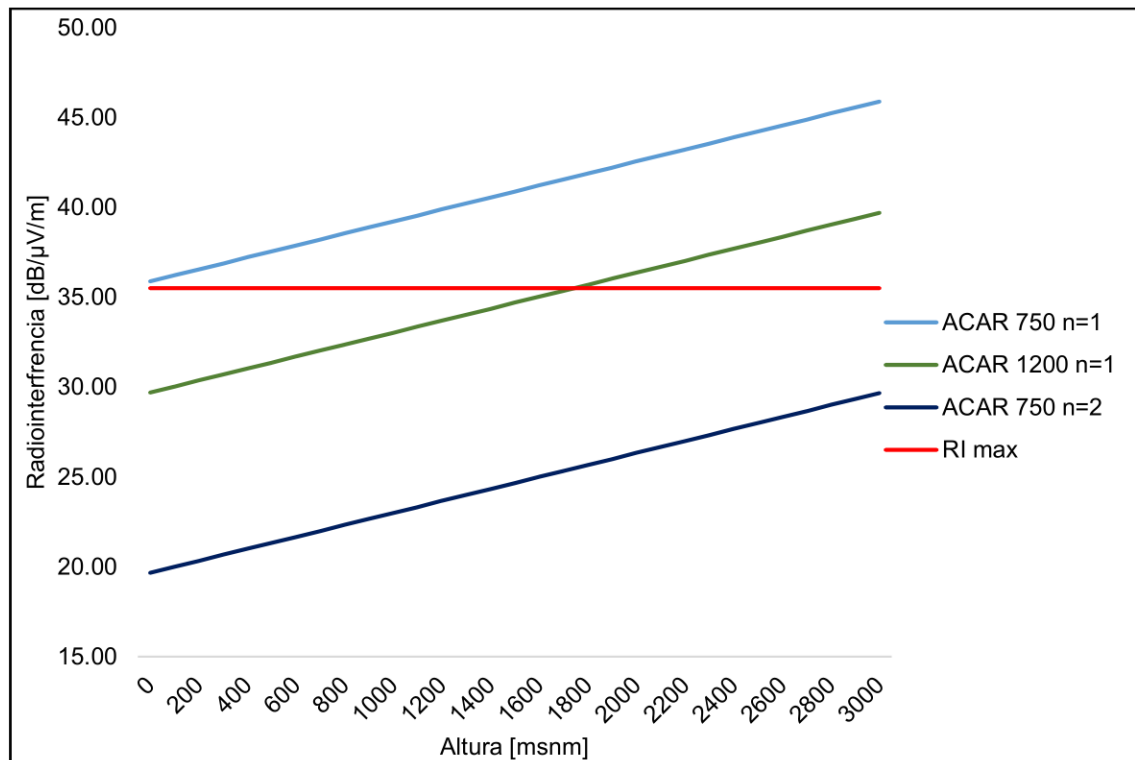
**Figura 3.6** Resultados de Radio Interferencia a una frecuencia de 0,53 MHz en función de los msnm para la Torre SP2, según la configuración del conductor

En la figura 3.7 se muestran los resultados de los calculos de Radio Interferencia para la torre AR2 y las tres opciones de conductores. Se observa que el conductor 1x750 ACAR supera el nivel maximo de Radio Interferencia desde los 0 msnm, mientras que el conductor 1x1200 ACAR sobrepasa el nivel maximo de Ruido Audible a los 1800 msnm. El mejor escenario se da con el conductor 2x750 ACAR ya que este no supera el nivel de Radio Interferencia.



**Figura 3.7** Resultados de Radio Interferencia a una frecuencia de 0,53 MHz en función de los msnm para la Torre AR2, según la configuración del conductor

En la figura 3.8 se muestran los resultados de los calculos de Radio Interferencia para la torre SL2 y las tres opciones de conductores. Se observa que el conductor 1x750 ACAR supera el nivel maximo de Radio Interferencia desde los 0 msnm, mientras que el conductor 1x1200 ACAR sobrepasa el nivel maximo de Ruido Audible a los 1800 msnm. El mejor escenario se da con el conductor 2x750 ACAR ya que este no supera el nivel de Radio Interferencia.

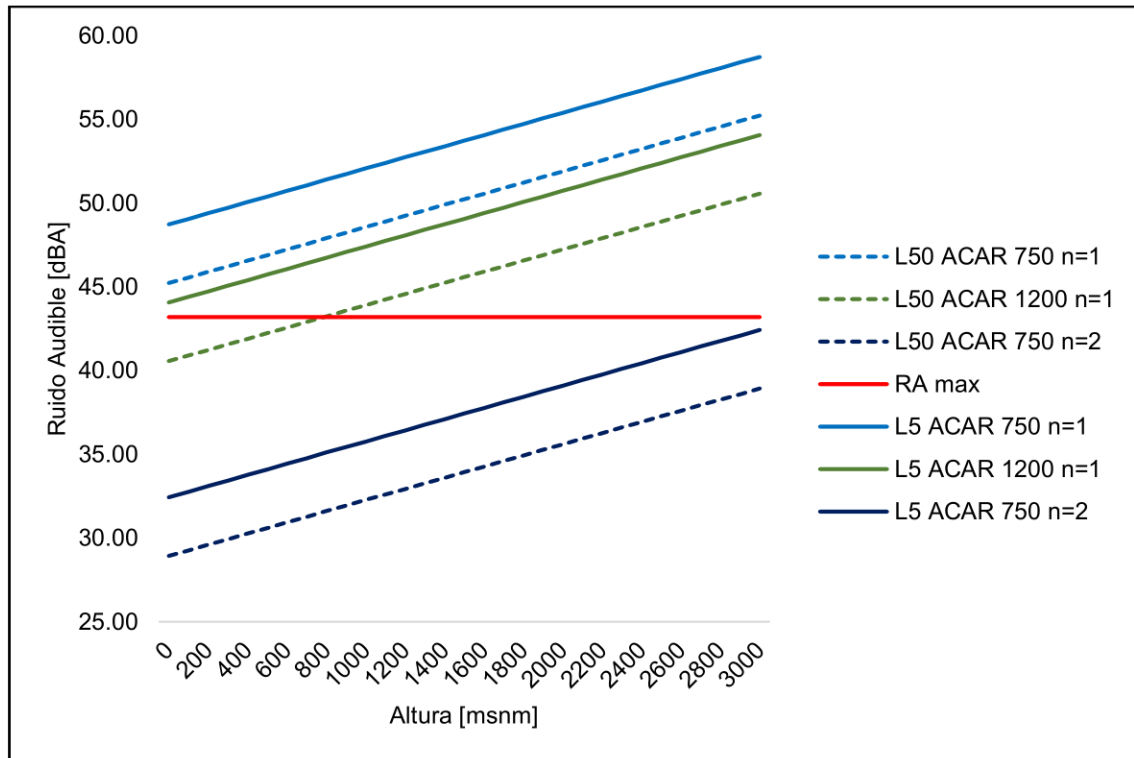


**Figura 3.8** Resultados de Radio Interferencia a una frecuencia de 0,53 MHz en función de los msnm para la Torre SL2, según la configuración del conductor

### 3.3 RESULTADOS DE RUIDO AUDIBLE

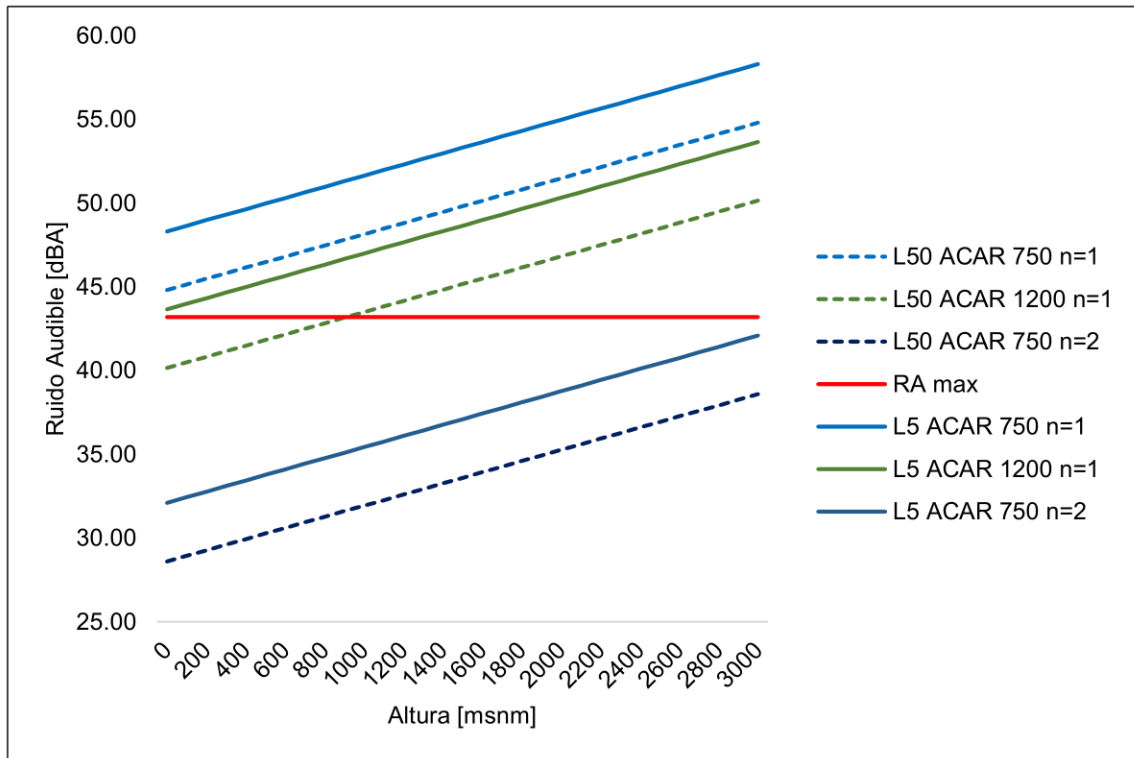
Las condiciones ambientales en la zona donde se realizó el estudio son de clima lluvioso. En la figura 3.9 se muestran los resultados del Ruido Audible para la torre AL2, en función de la altura sobre el nivel mar. El límite máximo de Ruido Audible permitido es de 43.2 dBA, según los resultados obtenidos se puede observar que el conductor óptimo es el 2x750 ACAR debido a que hasta los 3000 msnm se encuentra bajo el nivel máximo permisible de ruido audible en condiciones de lluvia fuerte.





**Figura 3.9** Resultados de Ruido Audible en función de los msnm para la Torre AL2, según la configuración del conductor

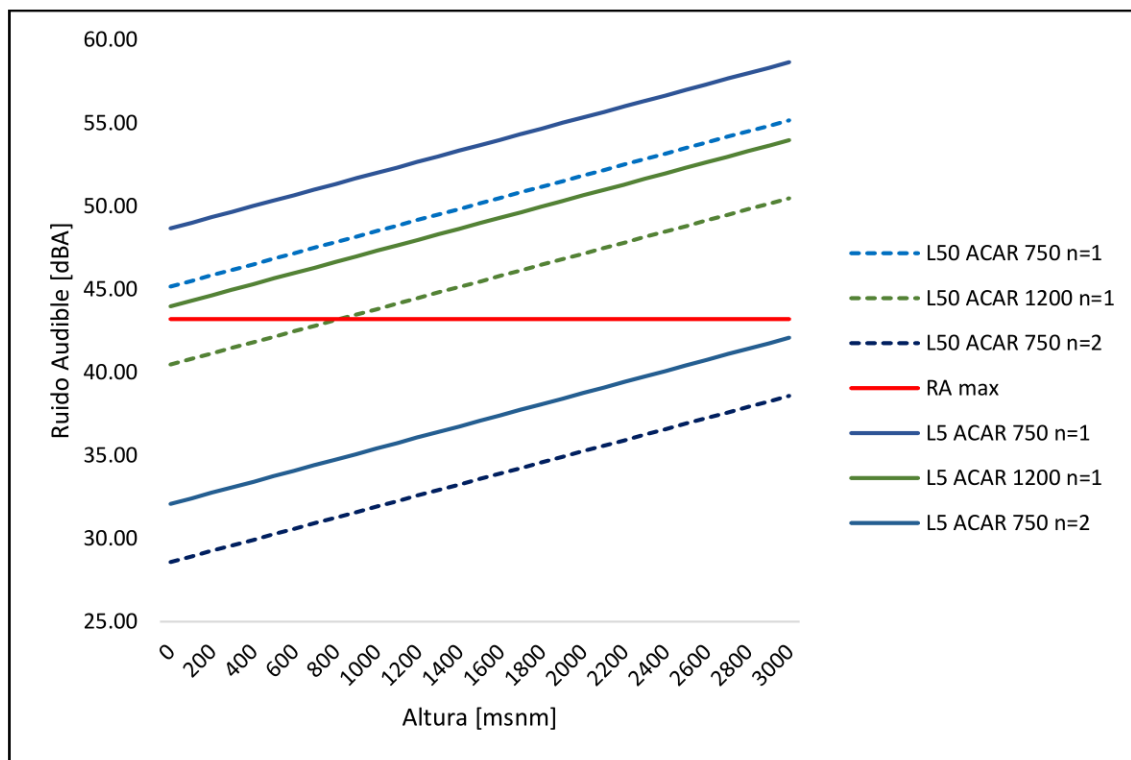
En la figura 3.10 se muestran los resultados del Ruido Audible para la torre SP2, en función de la altura sobre el nivel mar. El límite máximo de Ruido Audible permitido es de 43.2 dBA, según los resultados obtenidos se puede observar que el conductor óptimo es el 2x750 ACAR debido a que hasta los 3000 msnm se encuentra bajo el nivel máximo permisible de ruido audible en condiciones de lluvia fuerte.



**Figura 3.10** Resultados de Ruido Audible en función de los msnm para la Torre SP2, según la configuración del conductor

En la figura 3.11 se muestran los resultados del Ruido Audible para la torre AR2, en función de la altura sobre el nivel mar.

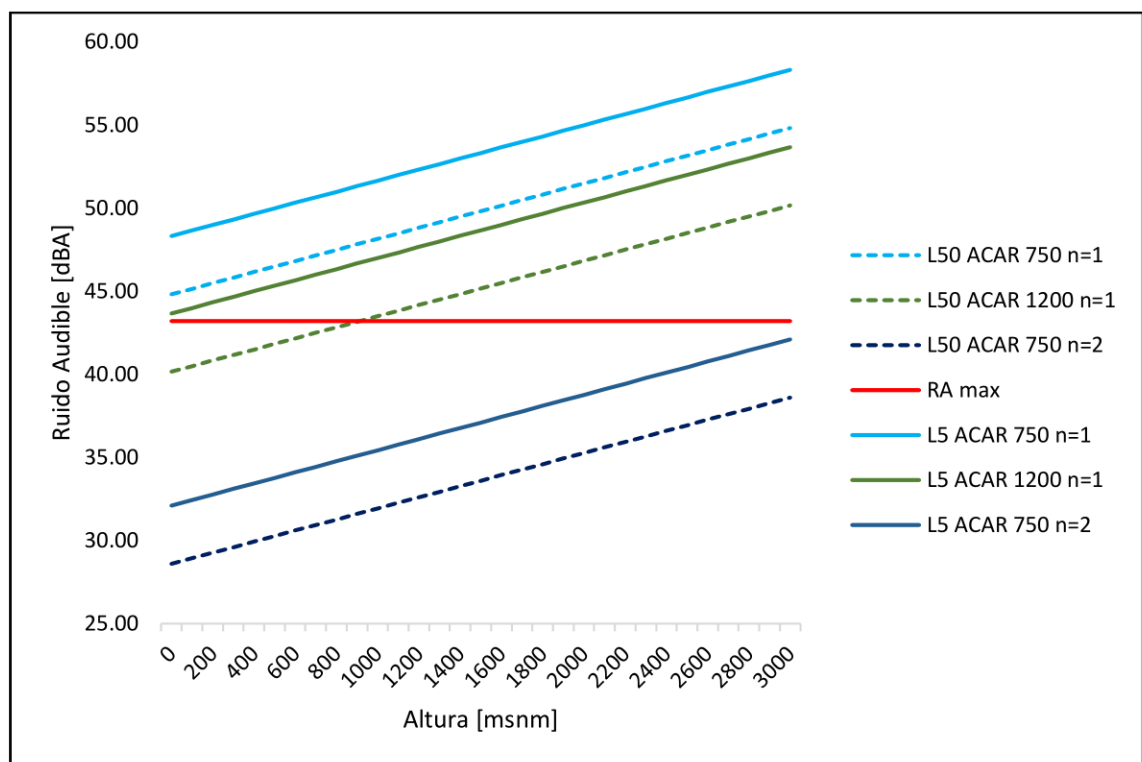
El límite máximo de Ruido Audible permitido es de 43.2 dBA, según los resultados obtenidos se puede observar que el conductor óptimo es el 2x750 ACAR debido a que hasta los 3000 msnm se encuentra bajo el nivel máximo permisible de ruido audible en condiciones de lluvia fuerte.



**Figura 3.11** Resultados de Ruido Audible en función de los msnm para la Torre AR2, según la configuración del conductor

En la figura 3.12 se muestran los resultados del Ruido Audible para la torre SL2, en función de la altura sobre el nivel mar.

El límite máximo de Ruido Audible permitido es de 43.2 dBA, según los resultados obtenidos se puede observar que el conductor óptimo es el 2x750 ACAR debido a que hasta los 3000 msnm se encuentra bajo el nivel máximo permisible de ruido audible en condiciones de lluvia fuerte.



**Figura 3.12** Resultados de Ruido Audible en función de los msnm para la Torre SL2, según la configuración del conductor

### 3.4 RESULTADOS CAMPO ELÉCTRICO Y MAGNÉTICO

De acuerdo con la tabla 3.1 y las Figuras 3.13 y 3.14 ninguna de las posibles configuraciones de conductores y torres supera los niveles máximos de la intensidad de Campo Eléctrico y Magnético

**Tabla 3.1** Campo Eléctrico y Campo Magnético para cada configuración de conductor y tipo de torre

Conductor	ACAR 750 n=1		ACAR 750 n=2		ACAR 1200 n=1	
	Campo Magnético [μT]	Campo Eléctrico [V]	Campo Magnético [μT]	Campo Eléctrico [V]	Campo Magnético [μT]	Campo Eléctrico [V]
AL2	6.0145	590.196	6.0145	812.3208	6.0145	611.2967
SP2	4.4661	543.8602	4.4661	750.7971	4.4661	563.7388
AR2	9.005	503.014	9.005	710	9.005	523.686
SL2	4.4661	538.5607	4.4661	749.7301	4.4661	559.9206

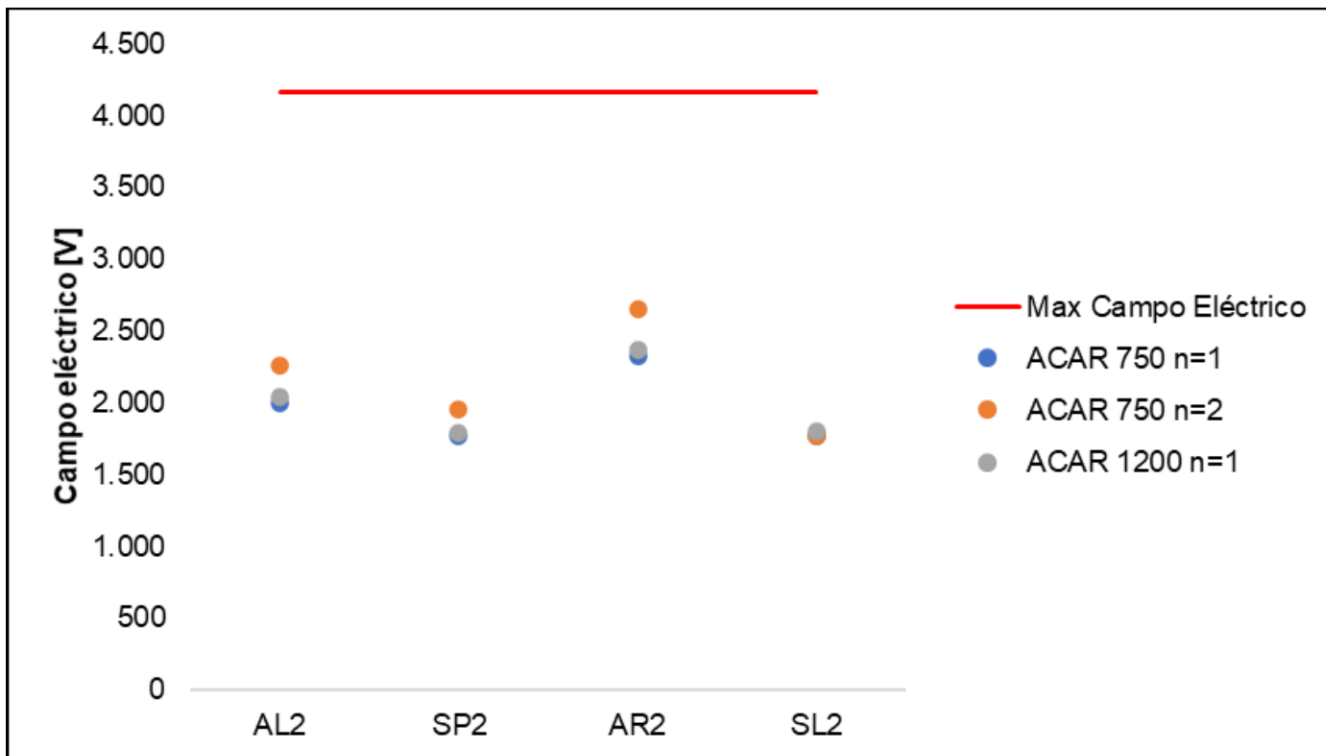


Figura 3.13 Campo eléctrico para cada tipo de torre

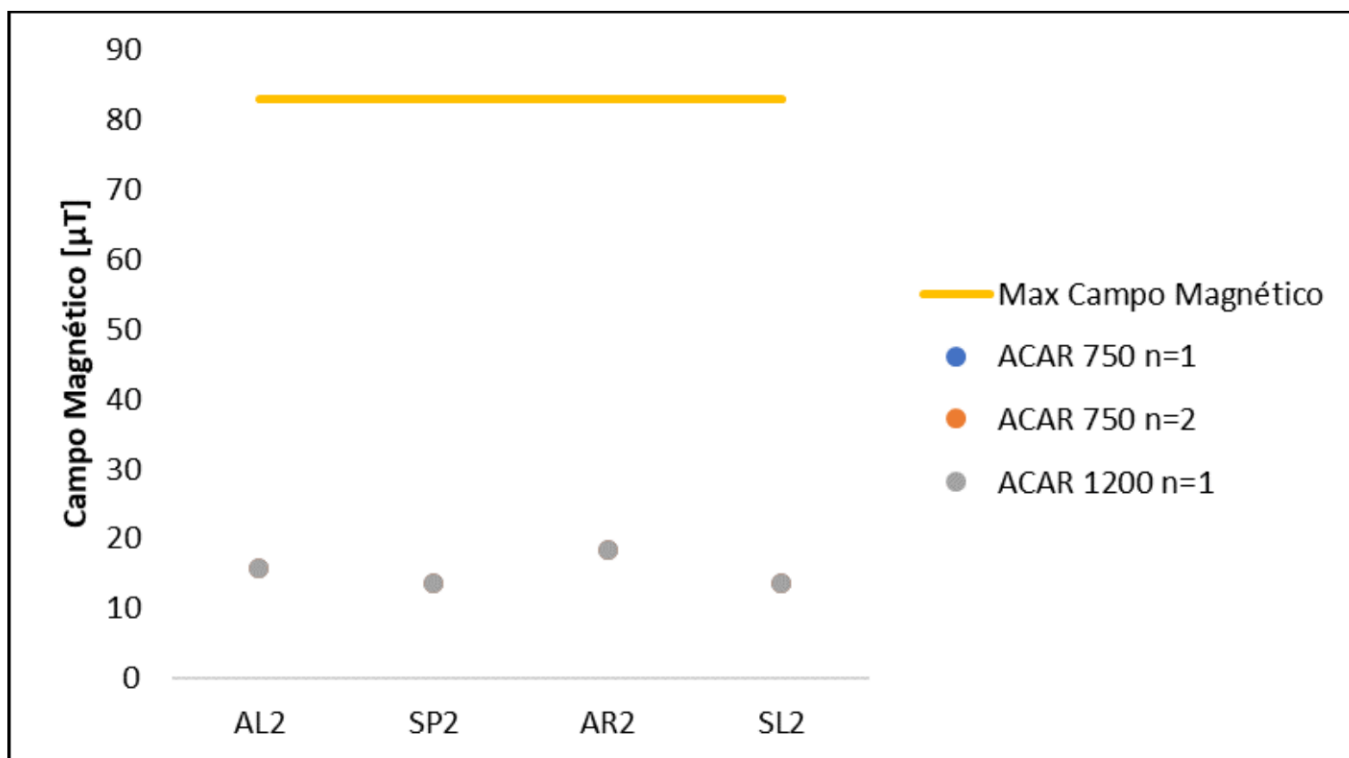


Figura 3.14 Campo magnético para cada tipo de torre

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- La información bibliográfica recopilada permitió desarrollar adiadamente este estudio. Ya que se estableció la metodología para determinar: el campo eléctrico, campo magnético, ruido audible, radio Interferencia y pérdidas por corona, para la línea San Francisco – Culebra – Shushufindi.
- Se realizó un estudio analítico de: campo eléctrico, campo magnético, ruido audible, radio Interferencia y pérdidas por corona, para la línea San Francisco – Culebra – Shushufindi. Para establecer la metodología aplicada en este proyecto.
- Con la ayuda del software ATP y Matlab se modeló la línea San Francisco – Culebra – Shushufindi, con la finalidad de obtener los resultados de: campo eléctrico, campo magnético, ruido audible, radio Interferencia y pérdidas por corona. En cada caso se determinó el valor máximo y se comparó con los niveles máximos permisibles.
- Para la intensidad del campo eléctrico y magnético los resultados obtenidos no sobrepasan los valores máximos permitidos en ninguno de los casos de estudio.
- Los mejores resultados para el caso de Efecto Corona se dieron con los conductores 1x1200 ACAR y 2x750 ACAR, ya que en los mismos no existe Efecto Corona para condiciones de humedad.
- En el caso del Ruido Audible el peor escenario se presenta con el conductor 1x750 ACAR, debido a que sobrepasa el nivel máximo permitido desde los 0 m.s.n.m.
- Con el conductor 2x750 ACAR se tienen los mejores resultados en el caso de Ruido Audible, debido a que no sobrepasa los límites máximos permitidos hasta los 3000 msnm.
- La banda de frecuencias AM que va desde los 530 kHz hasta los 1700 kHz, es la más propensa a ser afectada por la Radio Interferencia producida por las líneas de transmisión, mientras que la banda de frecuencias FM que va desde los 88.1 MHz hasta los 107.9 MHz, no se ve afectada por ninguno de los casos estudiados en este proyecto.
- Al igual que en los estudios anteriores el peor escenario se da con el conductor 1x750 ACAR que sobrepasa los niveles permitidos de Radio Interferencia en la banda de frecuencias AM desde los 0 m.s.n.m

- En el caso del conductor ACAR 2x750 los niveles de Radio Interferencia en la banda de frecuencias AM no sobrepasa los límites máximos a ninguna altura sobre el nivel del mar.
- En el caso del conductor 1x750 ACAR para condiciones de humedad, se presenta Efecto Corona a partir de los 1600 msnm, lo que genera pérdidas. Mientras que en los conductores 2x750 ACAR y 1x1200 ACAR no se presenta Efecto Corona hasta los 3000 msnm que fue la máxima altura a la cual se realizó este estudio.
- Para el caso de lluvia se presenta Efecto Corona en las diferentes configuraciones de conductores y torres desde los 0 msnm, generando perdidas por Efecto Corona.
- En base a los resultados obtenidos se puede observar que las pérdidas por Efecto Corona son mínimas en comparación a la potencia a ser transmitida por la línea de transmisión.
- En base a los resultados obtenidos, el conductor 2x750 ACAR es el conductor óptimo para transportar una potencia de 300 MVA a 230 kV.
- Al aumentar el diámetro del conductor o número de conductores, los valores de los fenómenos electromagnéticos disminuyen.
- La torre óptima para este estudio es la torre SL2, ya que los resultados obtenidos en los diferentes cálculos son los menores posibles. Además, se observa que los fenómenos electromagnéticos varían inversamente con la altura de la torre.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda complementar los resultados del presente estudio con un análisis económico sustentable, además de un estudio de impacto ambiental en la selección de la ruta.
- Se recomienda no ejecutar diseños que estén cercanos a los límites máximos permisibles de los fenómenos electromagnéticos, ya que con el paso del tiempo el conductor envejece, lo que incrementa los valores determinados inicialmente.
- En los casos en los cuales no se consigue cumplir con los valores mínimos recomendados de los efectos electromagnéticos, es recomendable aumentar la altura de las torres.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Comercio, «La incorporación del crudo de Ishpingo se difiere para el 2022,» marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/incorporacion-petroleo-ishpingo-amazonia-ecuador.html>.. [Último acceso: diciembre 2021].
- [2] MERNN, «Proyecto Sistema de Transmisión Nororiental,» enero 2021. [En línea]. Available: <https://proyectos.recursoyenergia.gob.ec/transmisionNororiental.php>.. [Último acceso: diciembre 2021].
- [3] B. Mena, «Efecto corona en líneas de transmisión de 500 kV,» EPN, Quito, 2008.
- [4] K. Papailiou, «Overhead Lines - Springer International Publishing,» CIGRE, Paris, 2017.
- [5] B. Steven, Electric Power System Basics, Jhon Wiley & Sons INC, 2007.
- [6] B. S. F., «Introduction to Power Systems Before Smart Grid,» *Wiley -IEEE Press*, pp. 1-53, 2013.
- [7] R. A. Dejo Serquen, «Metodología para el diseño de una línea de transmisión de 220 kV en el Perú, según consideraciones nacionales e internacionales,» 2019. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1693>. [Último acceso: diciembre 2021].
- [8] TRASNELECTRIC, «Selección de rutas para líneas de transmisión,» abril 2017. [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.coelec.gob.ec%2Ftranselectric%2Fimagenes%2Fstories%2Fbaners\\_home%2FLOTAIP\\_NEW%2F2017%2F05-2017%2Fa3\\_Regulaciones%2520y%2520procedimientos%2FRESOURCES%2FINS\\_Seleccion%25C3%20](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.coelec.gob.ec%2Ftranselectric%2Fimagenes%2Fstories%2Fbaners_home%2FLOTAIP_NEW%2F2017%2F05-2017%2Fa3_Regulaciones%2520y%2520procedimientos%2FRESOURCES%2FINS_Seleccion%25C3%20). [Último acceso: diciembre 2021].
- [9] J. Grainger y W. Stevenson, Análisis de sistemas de Potencia, Mexico: McGraw Hill, 1996, p. 131.
- [10] J. Moreno, «Diseño de la Nueva Línea Macará-Zapotillo 69kV del Sistema de Subtransmisión de la EERSSA S.A,» octubre 2019. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20511>. [Último acceso: diciembre 2021].
- [11] O. W., «Diseño Construcción de la línea de Subtransmisión a 69 KV Songa,» 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17013/1/GT002522.pdf>. [Último acceso: diciembre 2021 ].
- [12] R. Mujal, Cálculo de líneas y redes eléctricas, Barcelona: Edicions UPC, 2002.
- [13] IEEE, «A Comparison of Methods for Calculating Audible Noise of High Voltage Transmission Lines, » *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* , Vols. %1 de %2PAS -101, nº 10, pp. 4090-4099, 1982.
- [14] E. AC, Transmission line Reference Book - 200 kV and above, California: EPRI, 2005.
- [15] E. Benedict, T. Collins, T. Gotham y S. Hoffman, «Losses in Electric Power Systems, » West Lafayette, 1992.
- [16] D. P. Kothari, Sistemas eléctricos de potencia, México: McGraw-Hill, 2008.

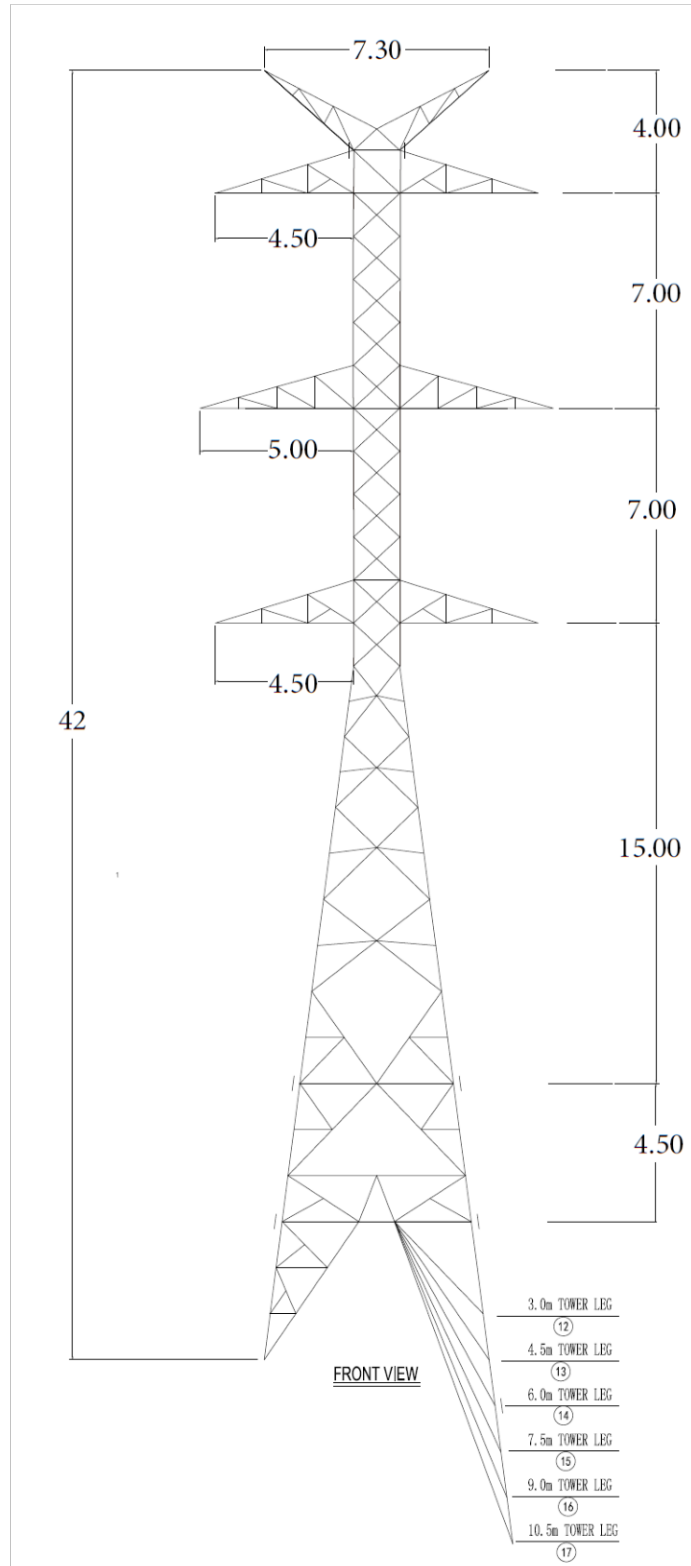


# 6. ANEXOS

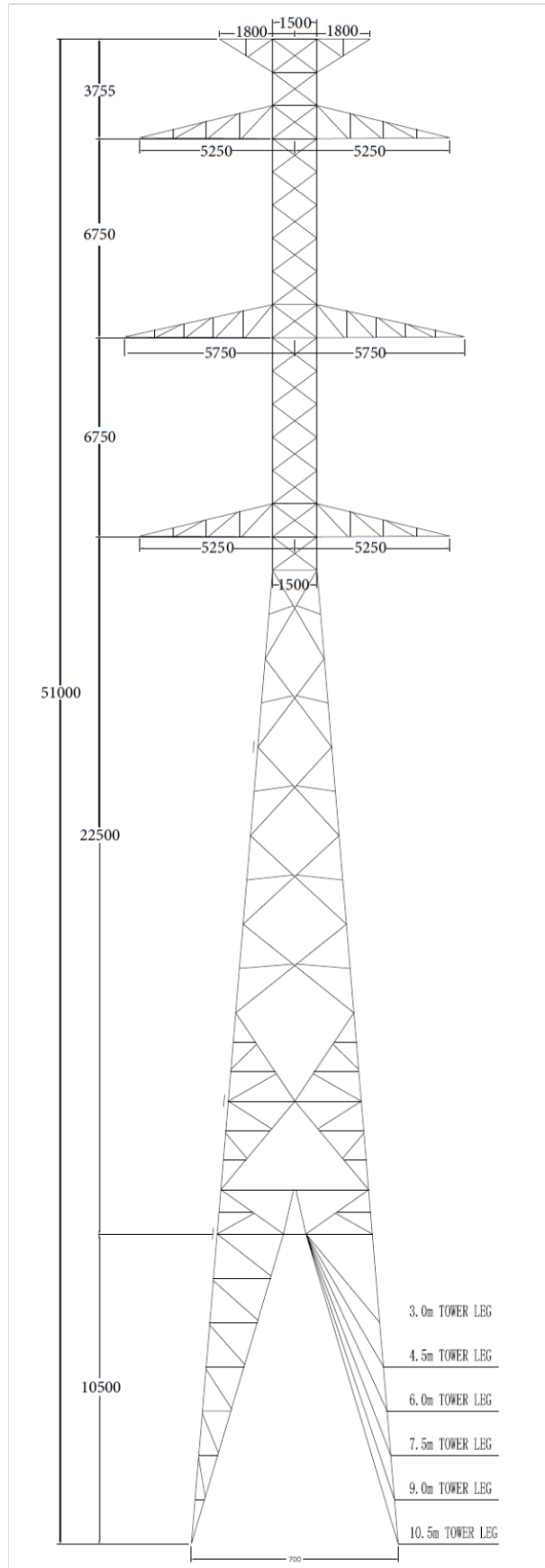
## ANEXO I

### DIAGRAMA DE LAS TORRES AL2, SP2, AR2, SL2

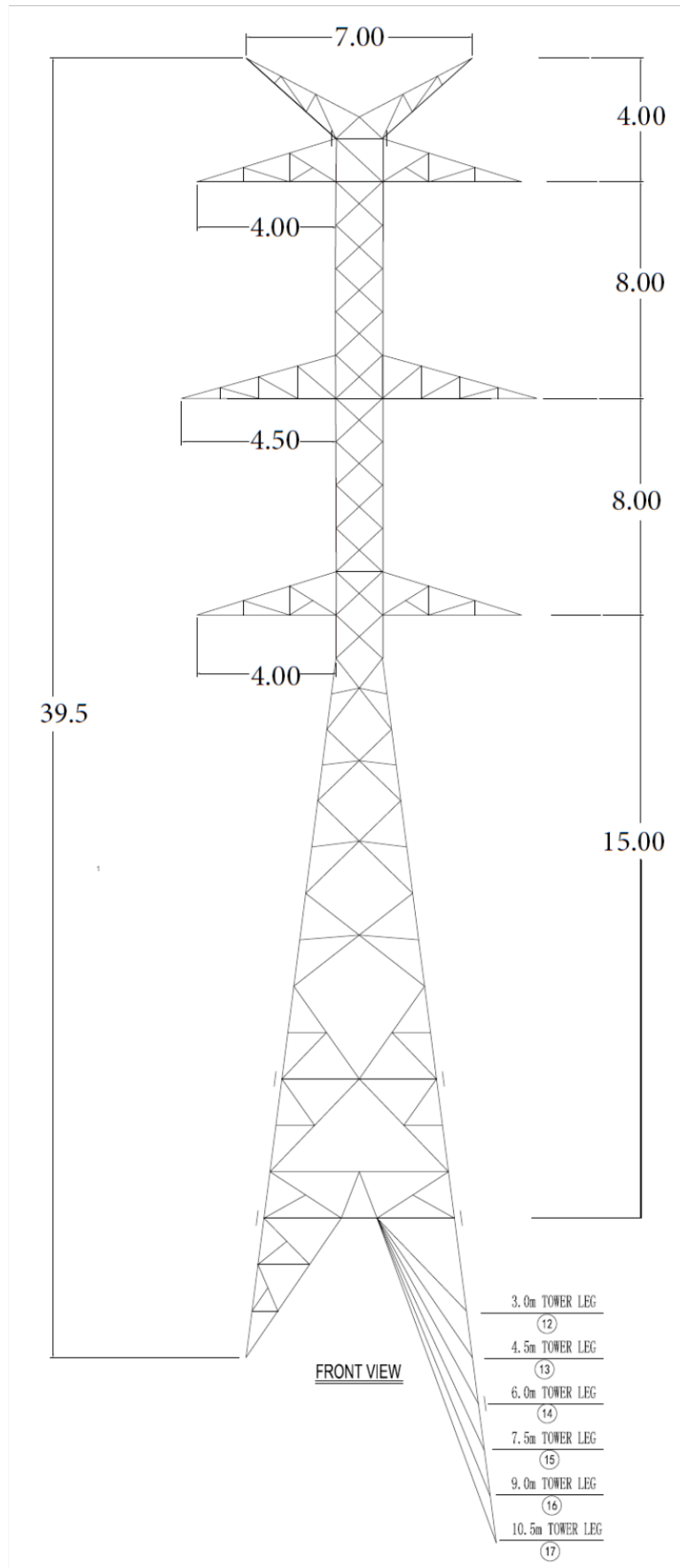
Torre AL2



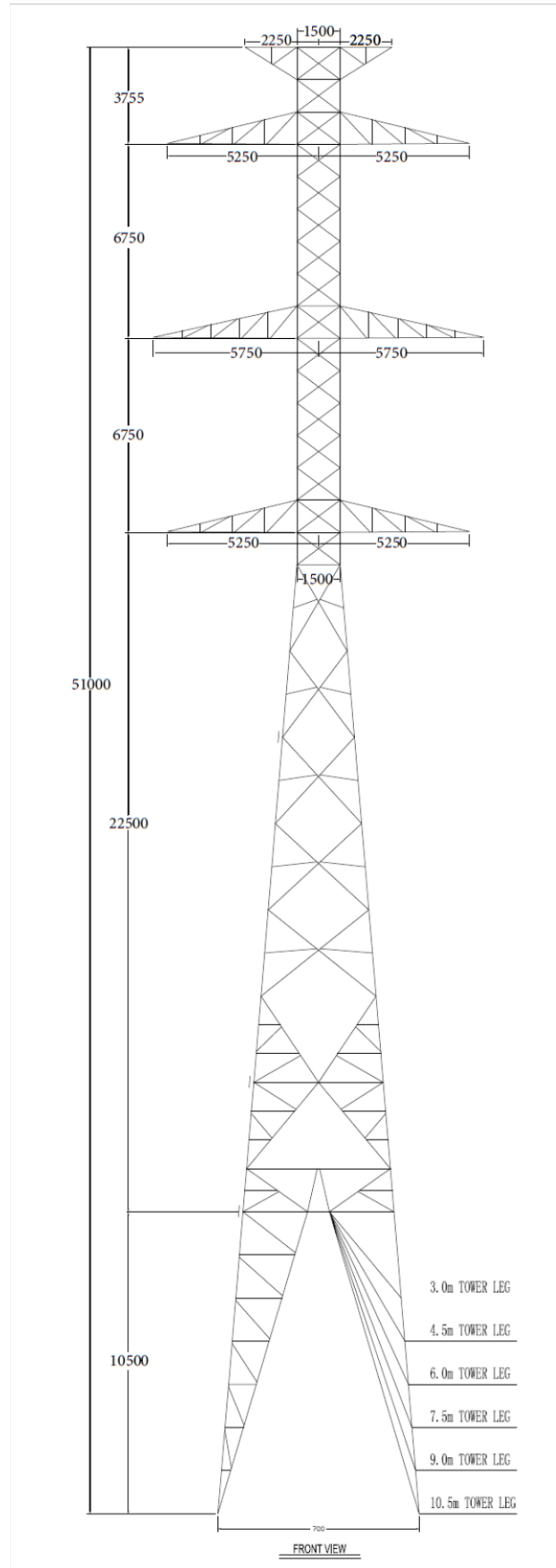
# Torre SP2



# Torre AR2



# Torre SL2



## ANEXO II

### CÁLCULO DEL GRADIENTE MÁXIMO, GRADIENTE CRÍTICO, EFECTO CORONA Y PERDIDAS POR CORONA EN DISTINTAS CONDICIONES AMBIENTALES, PARA CADA TORRE

Para la Torre AL2, se tiene el siguiente ejemplo de cálculo, con las condiciones que se detallan a continuación:

Caso 3 conductor ACAR 750 MCM,  $n=2$ ,  $m_c = 0.9$  y  $m_t = 0.8$

Radio de los conductores agrupados

$$R = \frac{S}{2 * \sin \frac{\pi}{n}}$$

$$R = \frac{40}{2 * \sin \frac{\pi}{2}}$$

$$R = 20$$

Radio equivalente del haz de conductores

$$r_{eq} = \sqrt[n]{n * r * R^{n-1}}$$

$$r_{eq} = \sqrt[2]{2 * 1.2655 * 20^{2-1}}$$

$$r_{eq} = 7.114773363$$

Distancia media geométrica

$$DA = \frac{\sqrt[3]{dAC * dAB' * dAB * dAC'}}{dAA'}$$

$$dAC = H1 + H2$$

$$dAC = 700 + 700$$

$$dAC = 1400$$

$$dAB = \sqrt{(D2 - D1)^2 + (H1)^2}$$

$$dAB = \sqrt{(575 - 525)^2 + (700)^2}$$

$$dAB = 701.3834$$

$$dAC' = D1 + D1$$

$$dAC' = 1050$$

$$dAB' = \sqrt{(D1 + D2)^2 + (H1)^2}$$

$$dAB' = \sqrt{(525 + 575)^2 + (700)^2}$$

$$dAB' = 1303.84$$

$$dAA' = \sqrt{(D1 + D3)^2 + (H1 + H2)^2}$$

$$dAA' = \sqrt{(525 + 525)^2 + (700 + 700)^2}$$

$$dAA' = 1750$$

$$DA = \frac{\sqrt[3]{1400 * 1303.84 * 700 * 1050}}{1750}$$

$$DA = 662.7276$$

Para las distancias DB y DC se repite el procedimiento anterior

$$DB = \frac{\sqrt[2]{dBA * dBA' * dBC * dCB'}}{dBB'}$$

$$DB = 795.6641$$

$$DC = \frac{\sqrt[2]{dCA * dCA' * dCB * dCB'}}{dCC'}$$

$$DC = 662.7266$$

$$DMG = \sqrt[3]{662.7266 * 795.6641 * 662.7266}$$

$$DMG = 704.3678$$

Cálculo del gradiente máximo

$$E_{sub} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{U}{n * r * \ln\left(\frac{DMG}{r_{eq}}\right)}}$$

$$E_{sub} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{\frac{230}{\sqrt{2}}}{2 * 2.531 * \ln\left(\frac{704.3678}{7.1148}\right)}}$$

$$E_{sub} = 11.4177$$

$$E = E_{sub} \left[ 1 + \frac{2 * (n - 1) r}{S} * \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \right]$$

$$E = 6.1745 \left[ 1 + \frac{2 * (2 - 1) 7.1148}{40} * \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \right]$$

$$E = 12.1401$$

Cálculo del gradiente crítico, para m=0.72

$$E_c = E_0 \delta m \left[ 1 + \frac{k}{\sqrt{\delta r}} \right]$$

$$E_c = 21.21 * 1 * 0.72 \left[ 1 + \frac{0.301}{\sqrt{1 * 7.11485}} \right]$$

$$E_c = 16.9943$$

Determinación del efecto corona

Si E>Ec, existe corona

E=12.1401<Ec=16.7201, por lo tanto, no existe corona

Cálculo de las perdidas por Corona por fase, para condiciones de m=0.18

$$P = \frac{241 * 10^{-5}}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{DMG}} \left[ \ln \frac{DMG}{r_{eq}} \right]^2 r^2 (E - E_c)^2$$

$$P = \frac{241 * 10^{-5}}{1} (60 + 25) \sqrt{\frac{1.2655}{704.3678} \left[ \ln \frac{704.3678}{7.1148} \right]^2} (1.2655)^2 (12.1401 - 4.2486)^2$$

$$P = 4.3140$$

A continuación, en las Tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11 y 6.12 se muestran los valores de gradiente máximo, gradiente crítico, la presencia de efecto corona para cada una de las torres estándar según la configuración de los conductores analizados.

**Tabla 6.1** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre AL2 con el conductor ACAR 750 n=1

Configuración del conductor				ACAR 750 n=1, E= 16,60 kV/m,					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Pérdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Pérdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	19,357	No hay corona	-	4,84	Hay corona	0,77
100	750,52	24,50	0,989	19,170	No hay corona	-	4,79	Hay corona	0,78
200	741,15	24,00	0,978	18,984	No hay corona	-	4,75	Hay corona	0,80
300	731,90	23,50	0,968	18,801	No hay corona	-	4,70	Hay corona	0,81
400	722,77	23,00	0,957	18,619	No hay corona	-	4,65	Hay corona	0,83
500	713,75	22,50	0,947	18,439	No hay corona	-	4,61	Hay corona	0,84
600	704,84	22,00	0,937	18,262	No hay corona	-	4,57	Hay corona	0,86
700	696,05	21,50	0,927	18,086	No hay corona	-	4,52	Hay corona	0,87
800	687,36	21,00	0,917	17,912	No hay corona	-	4,48	Hay corona	0,89
900	678,78	20,50	0,907	17,739	No hay corona	-	4,43	Hay corona	0,91
1000	670,31	20,00	0,897	17,569	No hay corona	-	4,39	Hay corona	0,92
1100	661,95	19,50	0,887	17,400	No hay corona	-	4,35	Hay corona	0,94
1200	653,69	19,00	0,878	17,233	No hay corona	-	4,31	Hay corona	0,96
1300	645,53	18,50	0,868	17,068	No hay corona	-	4,27	Hay corona	0,97
1400	637,47	18,00	0,859	16,904	No hay corona	-	4,23	Hay corona	0,99
1500	629,52	17,50	0,850	16,742	No hay corona	-	4,19	Hay corona	1,01
1600	621,66	17,00	0,841	16,582	Hay corona	1,738E-06	4,15	Hay corona	1,03
1700	613,90	16,50	0,831	16,424	Hay corona	2,041E-04	4,11	Hay corona	1,04
1800	606,24	16,00	0,823	16,267	Hay corona	7,430E-04	4,07	Hay corona	1,06
1900	598,68	15,50	0,814	16,111	Hay corona	1,619E-03	4,03	Hay corona	1,08
2000	591,21	15,00	0,805	15,958	Hay corona	2,833E-03	3,99	Hay corona	1,10
2100	583,83	14,50	0,796	15,806	Hay corona	4,385E-03	3,95	Hay corona	1,12
2200	576,54	14,00	0,788	15,655	Hay corona	6,275E-03	3,91	Hay corona	1,14
2300	569,35	13,50	0,779	15,506	Hay corona	8,505E-03	3,88	Hay corona	1,15
2400	562,24	13,00	0,771	15,359	Hay corona	1,108E-02	3,84	Hay corona	1,17
2500	555,23	12,50	0,763	15,213	Hay corona	1,399E-02	3,80	Hay corona	1,19
2600	548,30	12,00	0,754	15,069	Hay corona	1,724E-02	3,77	Hay corona	1,21
2700	541,45	11,50	0,746	14,926	Hay corona	2,083E-02	3,73	Hay corona	1,23
2800	534,70	11,00	0,738	14,784	Hay corona	2,477E-02	3,70	Hay corona	1,25
2900	528,03	10,50	0,730	14,644	Hay corona	2,905E-02	3,66	Hay corona	1,27
3000	521,44	10,00	0,722	14,506	Hay corona	3,368E-02	3,63	Hay corona	1,29



**Tabla 6.2** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre AL2 con el conductor ACAR 1200 n=1

Configuración del conductor				ACAR 1200 n=1, E= 13,63 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m= 0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	18,90	No Hay Corona	-	4,73	Hay Corona	0,73
100	750,52	24,50	0,989	18,72	No Hay Corona	-	4,68	Hay Corona	0,75
200	741,15	24,00	0,978	18,54	No Hay Corona	-	4,63	Hay Corona	0,77
300	731,90	23,50	0,968	18,35	No Hay Corona	-	4,59	Hay Corona	0,78
400	722,77	23,00	0,957	18,18	No Hay Corona	-	4,54	Hay Corona	0,80
500	713,75	22,50	0,947	18,00	No Hay Corona	-	4,50	Hay Corona	0,82
600	704,84	22,00	0,937	17,82	No Hay Corona	-	4,46	Hay Corona	0,83
700	696,05	21,50	0,927	17,65	No Hay Corona	-	4,41	Hay Corona	0,85
800	687,36	21,00	0,917	17,48	No Hay Corona	-	4,37	Hay Corona	0,87
900	678,78	20,50	0,907	17,31	No Hay Corona	-	4,33	Hay Corona	0,88
1000	670,31	20,00	0,897	17,14	No Hay Corona	-	4,28	Hay Corona	0,90
1100	661,95	19,50	0,887	16,97	No Hay Corona	-	4,24	Hay Corona	0,92
1200	653,69	19,00	0,878	16,81	No Hay Corona	-	4,20	Hay Corona	0,94
1300	645,53	18,50	0,868	16,65	No Hay Corona	-	4,16	Hay Corona	0,96
1400	637,47	18,00	0,859	16,48	No Hay Corona	-	4,12	Hay Corona	0,98
1500	629,52	17,50	0,850	16,32	No Hay Corona	-	4,08	Hay Corona	0,99
1600	621,66	17,00	0,841	16,17	No Hay Corona	-	4,04	Hay Corona	1,01
1700	613,90	16,50	0,831	16,01	No Hay Corona	-	4,00	Hay Corona	1,03
1800	606,24	16,00	0,823	15,86	No Hay Corona	-	3,96	Hay Corona	1,05
1900	598,68	15,50	0,814	15,70	No Hay Corona	-	3,93	Hay Corona	1,07
2000	591,21	15,00	0,805	15,55	No Hay Corona	-	3,89	Hay Corona	1,09
2100	583,83	14,50	0,796	15,40	No Hay Corona	-	3,85	Hay Corona	1,11
2200	576,54	14,00	0,788	15,25	No Hay Corona	-	3,81	Hay Corona	1,13
2300	569,35	13,50	0,779	15,11	No Hay Corona	-	3,78	Hay Corona	1,15
2400	562,24	13,00	0,771	14,96	No Hay Corona	-	3,74	Hay Corona	1,18
2500	555,23	12,50	0,763	14,82	No Hay Corona	-	3,70	Hay Corona	1,20
2600	548,30	12,00	0,754	14,67	No Hay Corona	-	3,67	Hay Corona	1,22
2700	541,45	11,50	0,746	14,53	No Hay Corona	-	3,63	Hay Corona	1,24
2800	534,70	11,00	0,738	14,39	No Hay Corona	-	3,60	Hay Corona	1,26
2900	528,03	10,50	0,730	14,26	No Hay Corona	-	3,56	Hay Corona	1,29
3000	521,44	10,00	0,722	14,12	No Hay Corona	-	3,53	Hay Corona	1,31

**Tabla 6.3** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre AL2 con el conductor ACAR 750 n=2

Configuración del conductor				ACAR 750 n=2, E= 12,14 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	16,99	No hay corona	-	4,25	Hay corona	0,35
100	750,52	24,50	0,989	16,82	No hay corona	-	4,20	Hay corona	0,35
200	741,15	24,00	0,978	16,65	No hay corona	-	4,16	Hay corona	0,36
300	731,90	23,50	0,968	16,48	No hay corona	-	4,12	Hay corona	0,37
400	722,77	23,00	0,957	16,31	No hay corona	-	4,08	Hay corona	0,38
500	713,75	22,50	0,947	16,14	No hay corona	-	4,04	Hay corona	0,39
600	704,84	22,00	0,937	15,97	No hay corona	-	3,99	Hay corona	0,39
700	696,05	21,50	0,927	15,81	No hay corona	-	3,95	Hay corona	0,40
800	687,36	21,00	0,917	15,65	No hay corona	-	3,91	Hay corona	0,41
900	678,78	20,50	0,907	15,49	No hay corona	-	3,87	Hay corona	0,42
1000	670,31	20,00	0,897	15,33	No hay corona	-	3,83	Hay corona	0,43
1100	661,95	19,50	0,887	15,17	No hay corona	-	3,79	Hay corona	0,44
1200	653,69	19,00	0,878	15,02	No hay corona	-	3,75	Hay corona	0,45
1300	645,53	18,50	0,868	14,87	No hay corona	-	3,72	Hay corona	0,45
1400	637,47	18,00	0,859	14,71	No hay corona	-	3,68	Hay corona	0,46
1500	629,52	17,50	0,850	14,56	No hay corona	-	3,64	Hay corona	0,47
1600	621,66	17,00	0,841	14,42	No hay corona	-	3,60	Hay corona	0,48
1700	613,90	16,50	0,831	14,27	No hay corona	-	3,57	Hay corona	0,49
1800	606,24	16,00	0,823	14,12	No hay corona	-	3,53	Hay corona	0,50
1900	598,68	15,50	0,814	13,98	No hay corona	-	3,50	Hay corona	0,51
2000	591,21	15,00	0,805	13,84	No hay corona	-	3,46	Hay corona	0,52
2100	583,83	14,50	0,796	13,70	No hay corona	-	3,42	Hay corona	0,53
2200	576,54	14,00	0,788	13,56	No hay corona	-	3,39	Hay corona	0,54
2300	569,35	13,50	0,779	13,42	No hay corona	-	3,36	Hay corona	0,55
2400	562,24	13,00	0,771	13,28	No hay corona	-	3,32	Hay corona	0,56
2500	555,23	12,50	0,763	13,15	No hay corona	-	3,29	Hay corona	0,57
2600	548,30	12,00	0,754	13,02	No hay corona	-	3,25	Hay corona	0,58
2700	541,45	11,50	0,746	12,88	No hay corona	-	3,22	Hay corona	0,59
2800	534,70	11,00	0,738	12,75	No hay corona	-	3,19	Hay corona	0,60
2900	528,03	10,50	0,730	12,63	No hay corona	-	3,16	Hay corona	0,61
3000	521,44	10,00	0,722	12,50	No hay corona	-	3,12	Hay corona	0,63

**Tabla 6.4** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre SP2 con el conductor ACAR 750 n=1

Configuración del conductor				ACAR 750 n=1, E= 16,67 kV/m,					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	19,36	No Hay Corona	-	4,84	Hay corona	0,78
100	750,52	24,50	0,989	19,17	No Hay Corona	-	4,79	Hay corona	0,80
200	741,15	24,00	0,978	18,98	No Hay Corona	-	4,75	Hay corona	0,81
300	731,90	23,50	0,968	18,80	No Hay Corona	-	4,70	Hay corona	0,83
400	722,77	23,00	0,957	18,62	No Hay Corona	-	4,65	Hay corona	0,84
500	713,75	22,50	0,947	18,44	No Hay Corona	-	4,61	Hay corona	0,86
600	704,84	22,00	0,937	18,26	No Hay Corona	-	4,57	Hay corona	0,87
700	696,05	21,50	0,927	18,09	No Hay Corona	-	4,52	Hay corona	0,89
800	687,36	21,00	0,917	17,91	No Hay Corona	-	4,48	Hay corona	0,91
900	678,78	20,50	0,907	17,74	No Hay Corona	-	4,43	Hay corona	0,92
1000	670,31	20,00	0,897	17,57	No Hay Corona	-	4,39	Hay corona	0,94
1100	661,95	19,50	0,887	17,40	No Hay Corona	-	4,35	Hay corona	0,96
1200	653,69	19,00	0,878	17,23	No Hay Corona	-	4,31	Hay corona	0,97
1300	645,53	18,50	0,868	17,07	No Hay Corona	-	4,27	Hay corona	0,99
1400	637,47	18,00	0,859	16,90	No Hay Corona	-	4,23	Hay corona	1,01
1500	629,52	17,50	0,850	16,74	No Hay Corona	-	4,19	Hay corona	1,02
1600	621,66	17,00	0,841	16,58	Hay corona	5,31E-05	4,15	Hay corona	1,04
1700	613,90	16,50	0,831	16,42	Hay corona	4,13E-04	4,11	Hay corona	1,06
1800	606,24	16,00	0,823	16,27	Hay corona	1,11E-03	4,07	Hay corona	1,08
1900	598,68	15,50	0,814	16,11	Hay corona	2,15E-03	4,03	Hay corona	1,10
2000	591,21	15,00	0,805	15,96	Hay corona	3,53E-03	3,99	Hay corona	1,12
2100	583,83	14,50	0,796	15,81	Hay corona	5,26E-03	3,95	Hay corona	1,14
2200	576,54	14,00	0,788	15,66	Hay corona	7,32E-03	3,91	Hay corona	1,15
2300	569,35	13,50	0,779	15,51	Hay corona	9,73E-03	3,88	Hay corona	1,17
2400	562,24	13,00	0,771	15,36	Hay corona	1,25E-02	3,84	Hay corona	1,19
2500	555,23	12,50	0,763	15,21	Hay corona	1,56E-02	3,80	Hay corona	1,21
2600	548,30	12,00	0,754	15,07	Hay corona	1,90E-02	3,77	Hay corona	1,23
2700	541,45	11,50	0,746	14,93	Hay corona	2,28E-02	3,73	Hay corona	1,25
2800	534,70	11,00	0,738	14,78	Hay corona	2,69E-02	3,70	Hay corona	1,27
2900	528,03	10,50	0,730	14,64	Hay corona	3,14E-02	3,66	Hay corona	1,29
3000	521,44	10,00	0,722	14,51	Hay corona	3,63E-02	3,63	Hay corona	1,32

**Tabla 6.5** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre SP2 con el conductor ACAR 1200 n=1

Configuración del conductor				ACAR 1200 n=1, E= 13,69 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m= 0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	18,90	No Hay Corona	-	4,73	Hay Corona	0,75
100	750,52	24,50	0,989	18,72	No Hay Corona	-	4,68	Hay Corona	0,76
200	741,15	24,00	0,978	18,54	No Hay Corona	-	4,63	Hay Corona	0,78
300	731,90	23,50	0,968	18,35	No Hay Corona	-	4,59	Hay Corona	0,80
400	722,77	23,00	0,957	18,18	No Hay Corona	-	4,54	Hay Corona	0,81
500	713,75	22,50	0,947	18,00	No Hay Corona	-	4,50	Hay Corona	0,83
600	704,84	22,00	0,937	17,82	No Hay Corona	-	4,46	Hay Corona	0,85
700	696,05	21,50	0,927	17,65	No Hay Corona	-	4,41	Hay Corona	0,87
800	687,36	21,00	0,917	17,48	No Hay Corona	-	4,37	Hay Corona	0,88
900	678,78	20,50	0,907	17,31	No Hay Corona	-	4,33	Hay Corona	0,90
1000	670,31	20,00	0,897	17,14	No Hay Corona	-	4,28	Hay Corona	0,92
1100	661,95	19,50	0,887	16,97	No Hay Corona	-	4,24	Hay Corona	0,94
1200	653,69	19,00	0,878	16,81	No Hay Corona	-	4,20	Hay Corona	0,96
1300	645,53	18,50	0,868	16,65	No Hay Corona	-	4,16	Hay Corona	0,97
1400	637,47	18,00	0,859	16,48	No Hay Corona	-	4,12	Hay Corona	0,99
1500	629,52	17,50	0,850	16,32	No Hay Corona	-	4,08	Hay Corona	1,01
1600	621,66	17,00	0,841	16,17	No Hay Corona	-	4,04	Hay Corona	1,03
1700	613,90	16,50	0,831	16,01	No Hay Corona	-	4,00	Hay Corona	1,05
1800	606,24	16,00	0,823	15,86	No Hay Corona	-	3,96	Hay Corona	1,07
1900	598,68	15,50	0,814	15,70	No Hay Corona	-	3,93	Hay Corona	1,09
2000	591,21	15,00	0,805	15,55	No Hay Corona	-	3,89	Hay Corona	1,11
2100	583,83	14,50	0,796	15,40	No Hay Corona	-	3,85	Hay Corona	1,13
2200	576,54	14,00	0,788	15,25	No Hay Corona	-	3,81	Hay Corona	1,15
2300	569,35	13,50	0,779	15,11	No Hay Corona	-	3,78	Hay Corona	1,18
2400	562,24	13,00	0,771	14,96	No Hay Corona	-	3,74	Hay Corona	1,20
2500	555,23	12,50	0,763	14,82	No Hay Corona	-	3,70	Hay Corona	1,22
2600	548,30	12,00	0,754	14,67	No Hay Corona	-	3,67	Hay Corona	1,24
2700	541,45	11,50	0,746	14,53	No Hay Corona	-	3,63	Hay Corona	1,26
2800	534,70	11,00	0,738	14,39	No Hay Corona	-	3,60	Hay Corona	1,29
2900	528,03	10,50	0,730	14,26	No Hay Corona	-	3,56	Hay Corona	1,31
3000	521,44	10,00	0,722	14,12	No Hay Corona	-	3,53	Hay Corona	1,33

**Tabla 6.6** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre SP2 con el conductor ACAR 750 n=2

Configuración del conductor				ACAR 750 n=2, E= 12,21 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	16,99	No hay corona	-	4,25	Hay corona	0,35
100	750,52	24,50	0,989	16,82	No hay corona	-	4,20	Hay corona	0,36
200	741,15	24,00	0,978	16,65	No hay corona	-	4,16	Hay corona	0,37
300	731,90	23,50	0,968	16,48	No hay corona	-	4,12	Hay corona	0,38
400	722,77	23,00	0,957	16,31	No hay corona	-	4,08	Hay corona	0,39
500	713,75	22,50	0,947	16,14	No hay corona	-	4,04	Hay corona	0,39
600	704,84	22,00	0,937	15,97	No hay corona	-	3,99	Hay corona	0,40
700	696,05	21,50	0,927	15,81	No hay corona	-	3,95	Hay corona	0,41
800	687,36	21,00	0,917	15,65	No hay corona	-	3,91	Hay corona	0,42
900	678,78	20,50	0,907	15,49	No hay corona	-	3,87	Hay corona	0,43
1000	670,31	20,00	0,897	15,33	No hay corona	-	3,83	Hay corona	0,44
1100	661,95	19,50	0,887	15,17	No hay corona	-	3,79	Hay corona	0,45
1200	653,69	19,00	0,878	15,02	No hay corona	-	3,75	Hay corona	0,46
1300	645,53	18,50	0,868	14,87	No hay corona	-	3,72	Hay corona	0,46
1400	637,47	18,00	0,859	14,71	No hay corona	-	3,68	Hay corona	0,47
1500	629,52	17,50	0,850	14,56	No hay corona	-	3,64	Hay corona	0,48
1600	621,66	17,00	0,841	14,42	No hay corona	-	3,60	Hay corona	0,49
1700	613,90	16,50	0,831	14,27	No hay corona	-	3,57	Hay corona	0,50
1800	606,24	16,00	0,823	14,12	No hay corona	-	3,53	Hay corona	0,51
1900	598,68	15,50	0,814	13,98	No hay corona	-	3,50	Hay corona	0,52
2000	591,21	15,00	0,805	13,84	No hay corona	-	3,46	Hay corona	0,53
2100	583,83	14,50	0,796	13,70	No hay corona	-	3,42	Hay corona	0,54
2200	576,54	14,00	0,788	13,56	No hay corona	-	3,39	Hay corona	0,55
2300	569,35	13,50	0,779	13,42	No hay corona	-	3,36	Hay corona	0,56
2400	562,24	13,00	0,771	13,28	No hay corona	-	3,32	Hay corona	0,57
2500	555,23	12,50	0,763	13,15	No hay corona	-	3,29	Hay corona	0,58
2600	548,30	12,00	0,754	13,02	No hay corona	-	3,25	Hay corona	0,59
2700	541,45	11,50	0,746	12,88	No hay corona	-	3,22	Hay corona	0,61
2800	534,70	11,00	0,738	12,75	No hay corona	-	3,19	Hay corona	0,62
2900	528,03	10,50	0,730	12,63	No hay corona	-	3,16	Hay corona	0,63

**Tabla 6.7** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre AR2 con el conductor ACAR 750 n=1

Configuración del conductor				ACAR 750 n=1, E= 16,37 kV/m,					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	19,36	No hay corona	-	4,84	Hay corona	0,73
100	750,52	24,50	0,989	19,17	No hay corona	-	4,79	Hay corona	0,74
200	741,15	24,00	0,978	18,98	No hay corona	-	4,75	Hay corona	0,75
300	731,90	23,50	0,968	18,80	No hay corona	-	4,70	Hay corona	0,77
400	722,77	23,00	0,957	18,62	No hay corona	-	4,65	Hay corona	0,78
500	713,75	22,50	0,947	18,44	No hay corona	-	4,61	Hay corona	0,80
600	704,84	22,00	0,937	18,26	No hay corona	-	4,57	Hay corona	0,81
700	696,05	21,50	0,927	18,09	No hay corona	-	4,52	Hay corona	0,83
800	687,36	21,00	0,917	17,91	No hay corona	-	4,48	Hay corona	0,84
900	678,78	20,50	0,907	17,74	No hay corona	-	4,43	Hay corona	0,86
1000	670,31	20,00	0,897	17,57	No hay corona	-	4,39	Hay corona	0,87
1100	661,95	19,50	0,887	17,40	No hay corona	-	4,35	Hay corona	0,89
1200	653,69	19,00	0,878	17,23	No hay corona	-	4,31	Hay corona	0,91
1300	645,53	18,50	0,868	17,07	No hay corona	-	4,27	Hay corona	0,92
1400	637,47	18,00	0,859	16,90	No hay corona	-	4,23	Hay corona	0,94
1500	629,52	17,50	0,850	16,74	No hay corona	-	4,19	Hay corona	0,95
1600	621,66	17,00	0,841	16,58	No hay corona	-	4,15	Hay corona	0,97
1700	613,90	16,50	0,831	16,42	No hay corona	-	4,11	Hay corona	0,99
1800	606,24	16,00	0,823	16,27	Hay corona	6,55E-05	4,07	Hay corona	1,01
1900	598,68	15,50	0,814	16,11	Hay corona	4,35E-04	4,03	Hay corona	1,02
2000	591,21	15,00	0,805	15,96	Hay corona	1,13E-03	3,99	Hay corona	1,04
2100	583,83	14,50	0,796	15,81	Hay corona	2,15E-03	3,95	Hay corona	1,06
2200	576,54	14,00	0,788	15,66	Hay corona	3,51E-03	3,91	Hay corona	1,08
2300	569,35	13,50	0,779	15,51	Hay corona	5,18E-03	3,88	Hay corona	1,09
2400	562,24	13,00	0,771	15,36	Hay corona	7,19E-03	3,84	Hay corona	1,11
2500	555,23	12,50	0,763	15,21	Hay corona	9,53E-03	3,80	Hay corona	1,13
2600	548,30	12,00	0,754	15,07	Hay corona	1,22E-02	3,77	Hay corona	1,15
2700	541,45	11,50	0,746	14,93	Hay corona	1,52E-02	3,73	Hay corona	1,17
2800	534,70	11,00	0,738	14,78	Hay corona	1,85E-02	3,70	Hay corona	1,19
2900	528,03	10,50	0,730	14,64	Hay corona	2,22E-02	3,66	Hay corona	1,21
3000	521,44	10,00	0,722	14,51	Hay corona	2,62E-02	3,63	Hay corona	1,23

**Tabla 6.8** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre AR2 con el conductor ACAR 1200 n=1

Configuración del conductor				ACAR 1200 n=1, E= 13,43 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m= 0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Pérdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Pérdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	18,90	No Hay Corona	-	4,73	Hay Corona	0,69
100	750,52	24,50	0,989	18,72	No Hay Corona	-	4,68	Hay Corona	0,71
200	741,15	24,00	0,978	18,54	No Hay Corona	-	4,63	Hay Corona	0,72
300	731,90	23,50	0,968	18,35	No Hay Corona	-	4,59	Hay Corona	0,74
400	722,77	23,00	0,957	18,18	No Hay Corona	-	4,54	Hay Corona	0,75
500	713,75	22,50	0,947	18,00	No Hay Corona	-	4,50	Hay Corona	0,77
600	704,84	22,00	0,937	17,82	No Hay Corona	-	4,46	Hay Corona	0,78
700	696,05	21,50	0,927	17,65	No Hay Corona	-	4,41	Hay Corona	0,80
800	687,36	21,00	0,917	17,48	No Hay Corona	-	4,37	Hay Corona	0,82
900	678,78	20,50	0,907	17,31	No Hay Corona	-	4,33	Hay Corona	0,83
1000	670,31	20,00	0,897	17,14	No Hay Corona	-	4,28	Hay Corona	0,85
1100	661,95	19,50	0,887	16,97	No Hay Corona	-	4,24	Hay Corona	0,87
1200	653,69	19,00	0,878	16,81	No Hay Corona	-	4,20	Hay Corona	0,89
1300	645,53	18,50	0,868	16,65	No Hay Corona	-	4,16	Hay Corona	0,90
1400	637,47	18,00	0,859	16,48	No Hay Corona	-	4,12	Hay Corona	0,92
1500	629,52	17,50	0,850	16,32	No Hay Corona	-	4,08	Hay Corona	0,94
1600	621,66	17,00	0,841	16,17	No Hay Corona	-	4,04	Hay Corona	0,96
1700	613,90	16,50	0,831	16,01	No Hay Corona	-	4,00	Hay Corona	0,98
1800	606,24	16,00	0,823	15,86	No Hay Corona	-	3,96	Hay Corona	0,99
1900	598,68	15,50	0,814	15,70	No Hay Corona	-	3,93	Hay Corona	1,01
2000	591,21	15,00	0,805	15,55	No Hay Corona	-	3,89	Hay Corona	1,03
2100	583,83	14,50	0,796	15,40	No Hay Corona	-	3,85	Hay Corona	1,05
2200	576,54	14,00	0,788	15,25	No Hay Corona	-	3,81	Hay Corona	1,07
2300	569,35	13,50	0,779	15,11	No Hay Corona	-	3,78	Hay Corona	1,09
2400	562,24	13,00	0,771	14,96	No Hay Corona	-	3,74	Hay Corona	1,11
2500	555,23	12,50	0,763	14,82	No Hay Corona	-	3,70	Hay Corona	1,13
2600	548,30	12,00	0,754	14,67	No Hay Corona	-	3,67	Hay Corona	1,15
2700	541,45	11,50	0,746	14,53	No Hay Corona	-	3,63	Hay Corona	1,17
2800	534,70	11,00	0,738	14,39	No Hay Corona	-	3,60	Hay Corona	1,20
2900	528,03	10,50	0,730	14,26	No Hay Corona	-	3,56	Hay Corona	1,22
3000	521,44	10,00	0,722	14,12	No Hay Corona	-	3,53	Hay Corona	1,24

**Tabla 6.9** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre AR2 con el conductor ACAR 750 n=2

Configuración del conductor				ACAR 750 n=2, E= 11,91 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	16,99	No hay corona	-	4,25	Hay corona	0,32
100	750,52	24,50	0,989	16,82	No hay corona	-	4,20	Hay corona	0,33
200	741,15	24,00	0,978	16,65	No hay corona	-	4,16	Hay corona	0,34
300	731,90	23,50	0,968	16,48	No hay corona	-	4,12	Hay corona	0,34
400	722,77	23,00	0,957	16,31	No hay corona	-	4,08	Hay corona	0,35
500	713,75	22,50	0,947	16,14	No hay corona	-	4,04	Hay corona	0,36
600	704,84	22,00	0,937	15,97	No hay corona	-	3,99	Hay corona	0,37
700	696,05	21,50	0,927	15,81	No hay corona	-	3,95	Hay corona	0,37
800	687,36	21,00	0,917	15,65	No hay corona	-	3,91	Hay corona	0,38
900	678,78	20,50	0,907	15,49	No hay corona	-	3,87	Hay corona	0,39
1000	670,31	20,00	0,897	15,33	No hay corona	-	3,83	Hay corona	0,40
1100	661,95	19,50	0,887	15,17	No hay corona	-	3,79	Hay corona	0,41
1200	653,69	19,00	0,878	15,02	No hay corona	-	3,75	Hay corona	0,41
1300	645,53	18,50	0,868	14,87	No hay corona	-	3,72	Hay corona	0,42
1400	637,47	18,00	0,859	14,71	No hay corona	-	3,68	Hay corona	0,43
1500	629,52	17,50	0,850	14,56	No hay corona	-	3,64	Hay corona	0,44
1600	621,66	17,00	0,841	14,42	No hay corona	-	3,60	Hay corona	0,45
1700	613,90	16,50	0,831	14,27	No hay corona	-	3,57	Hay corona	0,46
1800	606,24	16,00	0,823	14,12	No hay corona	-	3,53	Hay corona	0,47
1900	598,68	15,50	0,814	13,98	No hay corona	-	3,50	Hay corona	0,48
2000	591,21	15,00	0,805	13,84	No hay corona	-	3,46	Hay corona	0,48
2100	583,83	14,50	0,796	13,70	No hay corona	-	3,42	Hay corona	0,49
2200	576,54	14,00	0,788	13,56	No hay corona	-	3,39	Hay corona	0,50
2300	569,35	13,50	0,779	13,42	No hay corona	-	3,36	Hay corona	0,51
2400	562,24	13,00	0,771	13,28	No hay corona	-	3,32	Hay corona	0,52
2500	555,23	12,50	0,763	13,15	No hay corona	-	3,29	Hay corona	0,53
2600	548,30	12,00	0,754	13,02	No hay corona	-	3,25	Hay corona	0,54
2700	541,45	11,50	0,746	12,88	No hay corona	-	3,22	Hay corona	0,55
2800	534,70	11,00	0,738	12,75	No hay corona	-	3,19	Hay corona	0,56
2900	528,03	10,50	0,730	12,63	No hay corona	-	3,16	Hay corona	0,57
3000	521,44	10,00	0,722	12,50	No hay corona	-	3,12	Hay corona	0,58



**Tabla 6.10** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre SL2 con el conductor ACAR 750 n=1

Configuración del conductor				ACAR 750 n=1, E= 16,67 kV/m,					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	19,36	No hay corona	-	4,84	Hay corona	0,78
100	750,52	24,50	0,989	19,17	No hay corona	-	4,79	Hay corona	0,80
200	741,15	24,00	0,978	18,98	No hay corona	-	4,75	Hay corona	0,81
300	731,90	23,50	0,968	18,80	No hay corona	-	4,70	Hay corona	0,83
400	722,77	23,00	0,957	18,62	No hay corona	-	4,65	Hay corona	0,84
500	713,75	22,50	0,947	18,44	No hay corona	-	4,61	Hay corona	0,86
600	704,84	22,00	0,937	18,26	No hay corona	-	4,57	Hay corona	0,87
700	696,05	21,50	0,927	18,09	No hay corona	-	4,52	Hay corona	0,89
800	687,36	21,00	0,917	17,91	No hay corona	-	4,48	Hay corona	0,91
900	678,78	20,50	0,907	17,74	No hay corona	-	4,43	Hay corona	0,92
1000	670,31	20,00	0,897	17,57	No hay corona	-	4,39	Hay corona	0,94
1100	661,95	19,50	0,887	17,40	No hay corona	-	4,35	Hay corona	0,96
1200	653,69	19,00	0,878	17,23	No hay corona	-	4,31	Hay corona	0,97
1300	645,53	18,50	0,868	17,07	No hay corona	-	4,27	Hay corona	0,99
1400	637,47	18,00	0,859	16,90	No hay corona	-	4,23	Hay corona	1,01
1500	629,52	17,50	0,850	16,74	No hay corona	-	4,19	Hay corona	1,02
1600	621,66	17,00	0,841	16,58	Hay corona	5,31E-05	4,15	Hay corona	1,04
1700	613,90	16,50	0,831	16,42	Hay corona	4,13E-04	4,11	Hay corona	1,06
1800	606,24	16,00	0,823	16,27	Hay corona	1,11E-03	4,07	Hay corona	1,08
1900	598,68	15,50	0,814	16,11	Hay corona	2,15E-03	4,03	Hay corona	1,10
2000	591,21	15,00	0,805	15,96	Hay corona	3,53E-03	3,99	Hay corona	1,12
2100	583,83	14,50	0,796	15,81	Hay corona	5,26E-03	3,95	Hay corona	1,14
2200	576,54	14,00	0,788	15,66	Hay corona	7,32E-03	3,91	Hay corona	1,15
2300	569,35	13,50	0,779	15,51	Hay corona	9,73E-03	3,88	Hay corona	1,17
2400	562,24	13,00	0,771	15,36	Hay corona	1,25E-02	3,84	Hay corona	1,19
2500	555,23	12,50	0,763	15,21	Hay corona	1,56E-02	3,80	Hay corona	1,21
2600	548,30	12,00	0,754	15,07	Hay corona	1,90E-02	3,77	Hay corona	1,23
2700	541,45	11,50	0,746	14,93	Hay corona	2,28E-02	3,73	Hay corona	1,25
2800	534,70	11,00	0,738	14,78	Hay corona	2,69E-02	3,70	Hay corona	1,27
2900	528,03	10,50	0,730	14,64	Hay corona	3,14E-02	3,66	Hay corona	1,29
3000	521,44	10,00	0,722	14,51	Hay corona	3,63E-02	3,63	Hay corona	1,32

**Tabla 6.11** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre SL2 con el conductor ACAR 1200 n=1

Configuración del conductor				ACAR 1200 n=1, E= 13,43 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m= 0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	18,90	No Hay Corona	-	4,73	Hay Corona	0,75
100	750,52	24,50	0,989	18,72	No Hay Corona	-	4,68	Hay Corona	0,76
200	741,15	24,00	0,978	18,54	No Hay Corona	-	4,63	Hay Corona	0,78
300	731,90	23,50	0,968	18,35	No Hay Corona	-	4,59	Hay Corona	0,80
400	722,77	23,00	0,957	18,18	No Hay Corona	-	4,54	Hay Corona	0,81
500	713,75	22,50	0,947	18,00	No Hay Corona	-	4,50	Hay Corona	0,83
600	704,84	22,00	0,937	17,82	No Hay Corona	-	4,46	Hay Corona	0,85
700	696,05	21,50	0,927	17,65	No Hay Corona	-	4,41	Hay Corona	0,87
800	687,36	21,00	0,917	17,48	No Hay Corona	-	4,37	Hay Corona	0,88
900	678,78	20,50	0,907	17,31	No Hay Corona	-	4,33	Hay Corona	0,90
1000	670,31	20,00	0,897	17,14	No Hay Corona	-	4,28	Hay Corona	0,92
1100	661,95	19,50	0,887	16,97	No Hay Corona	-	4,24	Hay Corona	0,94
1200	653,69	19,00	0,878	16,81	No Hay Corona	-	4,20	Hay Corona	0,96
1300	645,53	18,50	0,868	16,65	No Hay Corona	-	4,16	Hay Corona	0,97
1400	637,47	18,00	0,859	16,48	No Hay Corona	-	4,12	Hay Corona	0,99
1500	629,52	17,50	0,850	16,32	No Hay Corona	-	4,08	Hay Corona	1,01
1600	621,66	17,00	0,841	16,17	No Hay Corona	-	4,04	Hay Corona	1,03
1700	613,90	16,50	0,831	16,01	No Hay Corona	-	4,00	Hay Corona	1,05
1800	606,24	16,00	0,823	15,86	No Hay Corona	-	3,96	Hay Corona	1,07
1900	598,68	15,50	0,814	15,70	No Hay Corona	-	3,93	Hay Corona	1,09
2000	591,21	15,00	0,805	15,55	No Hay Corona	-	3,89	Hay Corona	1,11
2100	583,83	14,50	0,796	15,40	No Hay Corona	-	3,85	Hay Corona	1,13
2200	576,54	14,00	0,788	15,25	No Hay Corona	-	3,81	Hay Corona	1,15
2300	569,35	13,50	0,779	15,11	No Hay Corona	-	3,78	Hay Corona	1,18
2400	562,24	13,00	0,771	14,96	No Hay Corona	-	3,74	Hay Corona	1,20
2500	555,23	12,50	0,763	14,82	No Hay Corona	-	3,70	Hay Corona	1,22
2600	548,30	12,00	0,754	14,67	No Hay Corona	-	3,67	Hay Corona	1,24
2700	541,45	11,50	0,746	14,53	No Hay Corona	-	3,63	Hay Corona	1,26
2800	534,70	11,00	0,738	14,39	No Hay Corona	-	3,60	Hay Corona	1,29
2900	528,03	10,50	0,730	14,26	No Hay Corona	-	3,56	Hay Corona	1,31
3000	521,44	10,00	0,722	14,12	No Hay Corona	-	3,53	Hay Corona	1,33

**Tabla 6.12** Valores de gradiente máximo, gradiente crítico, efecto corona y pérdidas por corona para la Torre SL2 con el conductor ACAR 750 n=2

Configuración del conductor				ACAR 750 n=2, E= 12,21 kV/m					
Condiciones Ambientales				m=0,72			m=0,18		
Altura [msnm]	Presión [mmHg]	Temperatura [°C]	Densidad aire	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]	Gradiente Crítico [kV/m]	Efecto Corona	Perdidas por corona [kW/km]
0	760,00	25,00	1,000	16,99	No hay corona	-	4,25	Hay corona	0,35
100	750,52	24,50	0,989	16,82	No hay corona	-	4,20	Hay corona	0,36
200	741,15	24,00	0,978	16,65	No hay corona	-	4,16	Hay corona	0,37
300	731,90	23,50	0,968	16,48	No hay corona	-	4,12	Hay corona	0,38
400	722,77	23,00	0,957	16,31	No hay corona	-	4,08	Hay corona	0,39
500	713,75	22,50	0,947	16,14	No hay corona	-	4,04	Hay corona	0,39
600	704,84	22,00	0,937	15,97	No hay corona	-	3,99	Hay corona	0,40
700	696,05	21,50	0,927	15,81	No hay corona	-	3,95	Hay corona	0,41
800	687,36	21,00	0,917	15,65	No hay corona	-	3,91	Hay corona	0,42
900	678,78	20,50	0,907	15,49	No hay corona	-	3,87	Hay corona	0,43
1000	670,31	20,00	0,897	15,33	No hay corona	-	3,83	Hay corona	0,44
1100	661,95	19,50	0,887	15,17	No hay corona	-	3,79	Hay corona	0,45
1200	653,69	19,00	0,878	15,02	No hay corona	-	3,75	Hay corona	0,46
1300	645,53	18,50	0,868	14,87	No hay corona	-	3,72	Hay corona	0,46
1400	637,47	18,00	0,859	14,71	No hay corona	-	3,68	Hay corona	0,47
1500	629,52	17,50	0,850	14,56	No hay corona	-	3,64	Hay corona	0,48
1600	621,66	17,00	0,841	14,42	No hay corona	-	3,60	Hay corona	0,49
1700	613,90	16,50	0,831	14,27	No hay corona	-	3,57	Hay corona	0,50
1800	606,24	16,00	0,823	14,12	No hay corona	-	3,53	Hay corona	0,51
1900	598,68	15,50	0,814	13,98	No hay corona	-	3,50	Hay corona	0,52
2000	591,21	15,00	0,805	13,84	No hay corona	-	3,46	Hay corona	0,53
2100	583,83	14,50	0,796	13,70	No hay corona	-	3,42	Hay corona	0,54
2200	576,54	14,00	0,788	13,56	No hay corona	-	3,39	Hay corona	0,55
2300	569,35	13,50	0,779	13,42	No hay corona	-	3,36	Hay corona	0,56
2400	562,24	13,00	0,771	13,28	No hay corona	-	3,32	Hay corona	0,57
2500	555,23	12,50	0,763	13,15	No hay corona	-	3,29	Hay corona	0,58
2600	548,30	12,00	0,754	13,02	No hay corona	-	3,25	Hay corona	0,59
2700	541,45	11,50	0,746	12,88	No hay corona	-	3,22	Hay corona	0,61
2800	534,70	11,00	0,738	12,75	No hay corona	-	3,19	Hay corona	0,62
2900	528,03	10,50	0,730	12,63	No hay corona	-	3,16	Hay corona	0,63
3000	521,44	10,00	0,722	12,50	No hay corona	-	3,12	Hay corona	0,64

## ANEXO III

### CÁLCULO DE CAMPO ELÉCTRICO Y CAMPO MAGNÉTICO

En esta sección se muestra los ejemplos de cálculo para el campo eléctrico y campo magnético.

#### CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO

Cálculo del campo eléctrico en una línea con torres AL2

Con ayuda del Software ATP simulamos y encontramos los valores de Capacitancia de la línea.

$$[Q] = [C][V]$$

[C]

$$= \begin{pmatrix} 0.1030 & -0.0201 & -0.0067 & -0.0115 & -0.0072 & -0.0038 & -0.0162 & -0.0084 \\ -0.0201 & 0.1040 & -0.00198 & -0.0072 & -0.0089 & -0.0070 & -0.0055 & -0.0036 \\ -0.0067 & -0.0198 & 0.1030 & -0.0038 & -0.0070 & -0.0114 & -0.0024 & -0.0018 \\ -0.0115 & -0.0072 & -0.0038 & 0.1030 & -0.0201 & -0.0067 & -0.0084 & -0.0162 \\ -0.0072 & -0.0089 & -0.0070 & -0.0201 & 0.1040 & -0.0198 & -0.0036 & -0.0055 \\ -0.0038 & -0.0070 & -0.0114 & -0.0067 & -0.0198 & 0.1030 & -0.0018 & -0.0024 \\ -0.0162 & -0.0055 & -0.0024 & -0.0084 & -0.0036 & -0.0018 & 0.0728 & -0.0116 \\ -0.0084 & -0.0036 & -0.0018 & -0.0162 & -0.0055 & -0.0024 & -0.0116 & 0.0728 \end{pmatrix} e$$

- 10

$$[V] = \begin{pmatrix} 230000 * 1.05 \\ 230000 * 1.05(\cos(120) + \sin(120) i) \\ 230000 * 1.05(\cos(-120) + \sin(-120) i) \\ 230000 * 1.05 \\ 230000 * 1.05(\cos(120) + \sin(120) i) \\ 230000 * 1.05(\cos(-120) + \sin(-120) i) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$[Q] = \begin{pmatrix} 0.1539 - 0.0204i \\ -0.0857 + 0.1473i \\ -0.0598 - 0.1430i \\ 0.1539 - 0.0204i \\ -0.0857 + 0.1473i \\ -0.0598 - 0.1430i \\ -0.0250 - 0.0060i \\ -0.0250 - 0.0060i \end{pmatrix} e^{-5}$$

Cálculo de la componente horizontal del campo de cada conductor

$$[E_{kx}] = \frac{(Q_{rk} + jQ_{ik})}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{X_M}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right]$$

$$[E_{ax}] = \frac{(0.1539 - 0.0204i)e - 5}{2\pi(8.854e - 12)} \left[ \frac{20.25}{20.25^2 + (1 - 27.848)^2} - \frac{20.25}{20.25^2 + (1 + 27.848)^2} \right]$$

$$[E_{ax}] = 44.43 - 05.88i$$

$$[E_{kx}] = \begin{pmatrix} 44.43 - 05.88i \\ -35.62 + 61.21i \\ -33.22 - 79.52i \\ 39.73 - 05.25i \\ -44.04 + 75.67i \\ -70.67 - 169.17i \end{pmatrix}$$

Cálculo de la componente horizontal del campo de cada conductor

$$[E_{ky}] = \frac{(Q_{rk} + jQ_{ik})}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{H_M - H_k}{X_M^2 + (H_k - H_M)^2} - \frac{H_M + H_k}{X_M^2 + (H_k + H_M)^2} \right]$$

$$[E_{ay}] = \frac{(0.1539 - 0.0204i)e - 5}{2\pi(8.854e - 12)} \left[ \frac{1 - 27.848}{20.25^2 + (1 - 27.848)^2} - \frac{1 + 27.848}{20.25^2 + (1 + 27.848)^2} \right]$$

$$[E_{ay}] = 44.4317 - 5.8759i$$

$$[E_{ky}] = \begin{pmatrix} -1299.6 + 171.9i \\ 741.8 - 1274.6i \\ 492.9 + 1179.8i \\ -1771.5 + 234.3i \\ 1236 - 2123.7i \\ 1035.9 + 2479.7i \end{pmatrix}$$

$$[E_x] = \sum_k E_{kx} = E_{rx} + jE_{ix}$$

$$E_x = (44.43 - 05.88i) + (-35.62 + 61.21i) + (-33.22 - 79.52i) + (39.73 - 05.25i) + (-44.04 + 75.67i) + (-70.67 - 169.17i)$$

$$[E_y] = \sum_k E_{ky} = E_{ry} + jE_{iy}$$

$$E_y = (-1299.6 + 171.9i) + (741.8 - 1274.6i) + (492.9 + 1179.8i) + (-1771.5 + 234.3i) + (1236 - 2123.7i) + (1035.9 + 2479.7i)$$

$$E_x = -99.402 - 122.95i$$

$$E_x = 435.50 + 667.27i$$

$$E_{rms} = \sqrt{E_{rx}^2 + E_{ix}^2 + E_{ry}^2 + E_{iy}^2}$$

$$E_{rms} = \sqrt{(-99.402)^2 + (-122.95)^2 + (435.5)^2 + (667.27)^2}$$

$$E_{rms} = 812.3508 V$$

## CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LOS LÍMITES DE LA FRANJA DE SERVIDUMBRE

$$[I_k] = \begin{pmatrix} 753.07 + 0.0000i \\ -376.53 + 652.17i \\ -376.53 - 652.17i \\ 753.07 + 0.0000i \\ -376.53 + 652.17i \\ -376.53 - 652.17i \end{pmatrix}$$

Componente real del campo producido por la fase a en el eje x

$$B_{arx} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr} (X_M - X_k)}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}}$$

$$B_{arx} = \frac{2 \cdot 10^{-7} (753.07) (20.25)}{\sqrt{(20.25)^2 + (1 - 27.848)^2}}$$

$$B_{arx} = 0.2697e - 5$$

Se repite el procedimiento para las otras fases

$$[B_{krx}] = \begin{pmatrix} 0.2697 \\ -0.1895 \\ -0.2651 \\ 0.1800 \\ -0.1453 \\ -0.2823 \end{pmatrix} e - 5$$

Se repite el procedimiento con la componente imaginaria de la corriente

$$[B_{kix}] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.3283 \\ -0.4593 \\ 0 \\ 0.2516 \\ -0.4889 \end{pmatrix} e - 5$$

Componente real del campo producido por la fase a en el eje y

$$[B_{krh}] = \frac{2 \cdot 10^{-7} I_{kr} (h_M - h_k)}{\sqrt{(X_M - X_k)^2 + (h_M - h_k)^2}}$$

$$B_{arh} = \frac{2 \cdot 10^{-7} (753.07) (1 - 27.848)}{\sqrt{(20.25)^2 + (1 - 27.848)^2}}$$

$$B_{arh} = 0.3576e - 5$$

$$[B_{kry}] = \begin{pmatrix} 0.3576 \\ -0.1813 \\ -0.1682 \\ 0.4956 \\ -0.3117 \\ -0.3719 \end{pmatrix} e^{-5}$$

Se repite el procedimiento con la componente imaginaria de la corriente

$$[B_{kry}] = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.3140 \\ -0.2914 \\ 0 \\ 0.5399 \\ -0.6442 \end{pmatrix} e^{-5}$$

$$B_{rx} = \sum_{k=1}^n B_{krx} \quad B_{rh} = \sum_{k=1}^n B_{krh} \quad B_{ix} = \sum_{k=1}^n B_{kix} \quad B_{ih} = \sum_{k=1}^n B_{kih}$$

$$B_{rx} = (0.2697 + (-0.1895) + (-0.2651) + (0.1800) + (-0.1453) + (-0.2823))e^{-5}$$

$$B_{rx} = -4.3251e^{-6}$$

$$B_{rh} = (0.3576 - 0.1813 - 0.1682 - 0.1682 + 0.4956 - 0.3117 - 0.3719)e^{-5}$$

$$B_{rh} = -1.7997e^{-6}$$

$$B_{ix} = (0 + 0.3282 + (-0.4593) + 0 + 0.2516 + (-0.4889))e^{-5}$$

$$B_{ix} = -3.6825e^{-6}$$

$$B_{ih} = (0 + 0.3140 + (-0.2914) + 0 + 0.5399 + (-0.6442))e^{-5}$$

$$B_{ih} = -8.1703e^{-7}$$

$$B_x = \sqrt{B_{rx}^2 + B_{ix}^2}$$

$$B_x = \sqrt{(-4.3251e^{-6})^2 + (-3.6825e^{-6})^2}$$

$$B_x = 5.6805e^{-6}$$

$$B_h = \sqrt{B_{rh}^2 + B_{ih}^2}$$

$$B_h = \sqrt{(-1.7997e^{-6})^2 + (-8.1703e^{-7})^2}$$

$$B_h = 1.9765e^{-6}$$

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_h^2}$$

$$B_h = \sqrt{(5.6805e^{-6})^2 + (1.9765e^{-6})^2}$$

$$B = 6.014e^{-6} T$$

## ANEXO IV

### CÁLCULO DE RUIDO AUDIBLE Y RADIO INTERFERENCIA

Cálculo del Ruido Audible

D = Distancia de la fase al punto a ser medido (Extremo de la franja de servidumbre)

Distancia del punto de medición a la fase A

$Df$  = Distancia de la torre al límite de la franja de servidumbre

$D$  = Altura del punto de medición

$$Dist_{-a} = \sqrt[2]{(Df + Da)^2 + (H1 - Hm)^2}$$

$$Dist_{-a} = \sqrt[2]{(15 + 5.25)^2 + (27.84 - 1)^2}$$

$$Dist_{-a} = \sqrt[2]{(20.25)^2 + (26.84)^2}$$

$$Dist_{-a} = 33.622$$

Se repite el cálculo para las demás fases

$$Dist_b = 28.714$$

$$Dist_c = 23.982$$

$$Dist_{a'} = 16.129$$

$$Dist_{b'} = 21.898$$

$$Dist_{c'} = 28.564$$

Cálculo del RA para la fase A

$$RA = 120 \log(E) + k \log(n) + 55 \log(d) - 11.4 \log(D) + AN_0 + \frac{Alt}{300}$$

$$RA = 120 \log(12.1401) + 0 * \log(2) + 55 \log(2.531) - 11.4 \log(33.622) - 115.4 + \frac{0}{300}$$

$$RA = 19.483$$

Para las demás fases se repite el cálculo

Fase	RA
A	19.483
B	20.265
C	21.157
C'	20.292
B'	21.607
A'	23.121

Cálculo del RA total de la línea

$$RA_{Tot} = 10 \log \sum_{i=1}^P 10^{\frac{RA_i}{10}}$$

$$RA_{Tot} = 10 \log \left( 10^{\frac{19.483}{10}} + 10^{\frac{20.365}{10}} + 10^{\frac{21.157}{10}} + 10^{\frac{20.292}{10}} + 10^{\frac{21.607}{10}} + 10^{\frac{23.121}{10}} \right)$$

$$RA_{Tot} = 28.935$$



Para un nivel  $L_5$

$$RA_5 = RA_{50} + 3.5$$

$$RA_5 = 28.935 + 3.5$$

$$RA_5 = 302.405$$

### Cálculo de la Radio Interferencia

Para una altura de 1000 metros y una frecuencia de 0.53 MHz, con un punto de medición a 15 metros de distancia del centro de la torre 1 metro de altura.

$$RI = 46 + 120 \log_{10} \left( \frac{E_{max}}{17.56} \right) + 40 \log_{10} \left( \frac{2r}{3.51} \right) + RI_f + RI_q + RI_D$$

$$RI_f = 10[1 - (\log(10 \cdot f))^2]$$

$$RI_f = 10[1 - (\log(10 * 0.53))^2]$$

$$RI_f = 4.754$$

$$RI_q = \frac{A}{0.3}$$

$$RI_q = \frac{1}{0.3}$$

$$RI_q = 3.334$$

$$RI_D = -C_1 + C_2$$

### Cálculo de C1

$$C_1 = 10 \log(DW^2 + ESU^2 + EIND^2)$$

Los parámetros de referencia para el cálculo de C1 son:

$$D_1 = 21.04$$

$$EIND_1 = \frac{70.55}{f^2}$$

$$EIND_1 = \frac{70.55}{0.53^2}$$

$$EIND_1 = 251.157$$

$$\Delta_1 = \frac{52.2(21.4)}{4(566.03)^2}$$

$$\Delta_1 = 8.716e - 4$$

$$f(\Delta_1) = \frac{2 + 0.3\Delta_1}{2 + \Delta_1 + 0.6\Delta_1^2}$$

$$f(\Delta_1) = \frac{2 + 0.3(8.716e - 4)}{2 + 8.716e - 4 + 0.6(8.716e - 4)^2}$$

$$f(\Delta_1) = 0.999$$

$$DW_1 = \frac{31.1}{f}$$

$$DW_1 = \frac{31.1}{0.53}$$

$$DW_1 = 58.67$$

$$ESU_1 = \frac{31.1 f(\Delta_1)}{f}$$

$$ESU_1 = \frac{31.1 * (0.999)}{0.53}$$

$$ESU_1 = 58.66$$

$$C_1 = 10 \log(58.67^2 + 58.66 + 251.157^2)$$

$$C_1 = 48.448$$

Cálculo de C2

$$C_2 = 10 \log(DW^2 + ESU^2 + EIND^2) \text{ dB}$$

$$D \leq \frac{12Hh_a}{\lambda}$$

$$33.6285 > \frac{12(27.848)(1)}{566.037}$$

$$33.6285 > 0.59$$

$$DW = \frac{H}{k_0 D} \cdot \frac{12Hh_a}{\lambda D}$$

$$DW = \frac{27.848}{\left(\frac{2\pi}{566.037}\right)(33.6285)} \cdot \frac{12(27.848)(1)}{(566.037)(33.6285)}$$

$$DW = 1.3097$$

$$\Delta = \frac{52.2D}{\sigma_g \lambda^2}$$

$$\Delta = \frac{52.2(33.6285)}{4(566.037)^2}$$

$$\Delta = 0.014$$

$$g(\Delta) = \frac{2 + 0.3\Delta}{2 + \Delta + 0.6\Delta^2}$$

$$g(\Delta) = \frac{2 + 0.3(0.014)}{2 + 0.014 + 0.6(0.014)^2}$$

$$g(\Delta) = 0.9995$$

$$ESU = \frac{g(\Delta)H}{k_0 D}$$

$$ESU = \frac{0.9995(27.848)}{\left(\frac{2\pi}{566.037}\right)(33.6285)}$$

$$ESU = 74.5662$$

$$EIND = \frac{H}{(k_0 D)^2}$$

$$EIND = \frac{27.848}{\left(\frac{2\pi}{566.037} * 33.6285\right)^2}$$

$$EIND = 74.6022$$

$$C_2 = 10 \log(1.3097^2 + 74.5662^2 + 74.6022^2) \text{ dB}$$

$$C_2 = 40.4639$$

$$= 46 + 120 \log_{10} \left( \frac{12.1401}{17.56} \right) + 40 \log_{10} \left( \frac{2(1.2655)}{3.51} \right) + 4.754 + 3.334 - 48.448 + 40.4639$$

$$RI_a = 21.1870$$

Se repite el cálculo para los demás conductores, el valor máximo obtenido es el valor total de la Radio Interferencia.

**Tabla 6.13** Valores de Ruido Audible y Radiointerferencia para la Torre AL2 según la configuración del conductor

Configuración del conductor	ACAR 750 n=1					ACAR 1200 n=1					ACAR 750 n=2				
	Condiciones	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz
Altura [msnm]	Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	RI [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	RI [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	RI [dB/μV/m]		
0	45,24	48,74	35,57	35,03	32,98	40,57	44,07	29,38	28,84	26,79	28,93	32,43	19,27	18,73	16,68
100	45,57	49,07	35,91	35,37	33,31	40,91	44,41	29,71	29,17	27,12	29,27	32,77	19,60	19,06	17,01
200	45,90	49,40	36,24	35,70	33,65	41,24	44,74	30,04	29,50	27,45	29,60	33,10	19,94	19,40	17,35
300	46,24	49,74	36,57	36,03	33,98	41,57	45,07	30,38	29,84	27,79	29,93	33,43	20,27	19,73	17,68
400	46,57	50,07	36,91	36,37	34,31	41,91	45,41	30,71	30,17	28,12	30,27	33,77	20,60	20,06	18,01
500	46,90	50,40	37,24	36,70	34,65	42,24	45,74	31,04	30,50	28,45	30,60	34,10	20,94	20,40	18,35
600	47,24	50,74	37,57	37,03	34,98	42,57	46,07	31,38	30,84	28,79	30,93	34,43	21,27	20,73	18,68
700	47,57	51,07	37,91	37,37	35,31	42,91	46,41	31,71	31,17	29,12	31,27	34,77	21,60	21,06	19,01
800	47,90	51,40	38,24	37,70	35,65	43,24	46,74	32,04	31,50	29,45	31,60	35,10	21,94	21,40	19,35
900	48,24	51,74	38,57	38,03	35,98	43,57	47,07	32,38	31,84	29,79	31,93	35,43	22,27	21,73	19,68
1000	48,57	52,07	38,91	38,37	36,31	43,91	47,41	32,71	32,17	30,12	32,27	35,77	22,60	22,06	20,01
1100	48,90	52,40	39,24	38,70	36,65	44,24	47,74	33,04	32,50	30,45	32,60	36,10	22,94	22,40	20,35
1200	49,24	52,74	39,57	39,03	36,98	44,57	48,07	33,38	32,84	30,79	32,93	36,43	23,27	22,73	20,68
1300	49,57	53,07	39,91	39,37	37,31	44,91	48,41	33,71	33,17	31,12	33,27	36,77	23,60	23,06	21,01
1400	49,90	53,40	40,24	39,70	37,65	45,24	48,74	34,04	33,50	31,45	33,60	37,10	23,94	23,40	21,35
1500	50,24	53,74	40,57	40,03	37,98	45,57	49,07	34,38	33,84	31,79	33,93	37,43	24,27	23,73	21,68
1600	50,57	54,07	40,91	40,37	38,31	45,91	49,41	34,71	34,17	32,12	34,27	37,77	24,60	24,06	22,01
1700	50,90	54,40	41,24	40,70	38,65	46,24	49,74	35,04	34,50	32,45	34,60	38,10	24,94	24,40	22,35
1800	51,24	54,74	41,57	41,03	38,98	46,57	50,07	35,38	34,84	32,79	34,93	38,43	25,27	24,73	22,68
1900	51,57	55,07	41,91	41,37	39,31	46,91	50,41	35,71	35,17	33,12	35,27	38,77	25,60	25,06	23,01
2000	51,90	55,40	42,24	41,70	39,65	47,24	50,74	36,04	35,50	33,45	35,60	39,10	25,94	25,40	23,35
2100	52,24	55,74	42,57	42,03	39,98	47,57	51,07	36,38	35,84	33,79	35,93	39,43	26,27	25,73	23,68
2200	52,57	56,07	42,91	42,37	40,31	47,91	51,41	36,71	36,17	34,12	36,27	39,77	26,60	26,06	24,01
2300	52,90	56,40	43,24	42,70	40,65	48,24	51,74	37,04	36,50	34,45	36,60	40,10	26,94	26,40	24,35
2400	53,24	56,74	43,57	43,03	40,98	48,57	52,07	37,38	36,84	34,79	36,93	40,43	27,27	26,73	24,68
2500	53,57	57,07	43,91	43,37	41,31	48,91	52,41	37,71	37,17	35,12	37,27	40,77	27,60	27,06	25,01
2600	53,90	57,40	44,24	43,70	41,65	49,24	52,74	38,04	37,50	35,45	37,60	41,10	27,94	27,40	25,35
2700	54,24	57,74	44,57	44,03	41,98	49,57	53,07	38,38	37,84	35,79	37,93	41,43	28,27	27,73	25,68
2800	54,57	58,07	44,91	44,37	42,31	49,91	53,41	38,71	38,17	36,12	38,27	41,77	28,60	28,06	26,01
2900	54,90	58,40	45,24	44,70	42,65	50,24	53,74	39,04	38,50	36,45	38,60	42,10	28,94	28,40	26,35
3000	55,24	58,74	45,57	45,03	42,98	50,57	54,07	39,38	38,84	36,79	38,93	42,43	29,27	28,73	26,68

**Tabla 6.14** Valores de Ruido Audible y Radiointerferencia para la Torre SP2 según la configuración del conductor

Configuración del conductor	ACAR 750 n=1					ACAR 1200 n=1					ACAR 750 n=2				
	Condiciones	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz
Altura [msnm]	Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	Ri [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	Ri dB/μV/m			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	Ri [dB/μV/m]		
0	44,81	48,31	35,57	35,03	32,98	40,16	43,66	29,38	28,84	26,79	28,60	32,10	19,27	18,73	16,68
100	45,15	48,65	35,91	35,37	33,31	40,49	43,99	29,71	29,17	27,12	28,93	32,43	19,60	19,06	17,01
200	45,48	48,98	36,24	35,70	33,65	40,83	44,33	30,04	29,50	27,45	29,27	32,77	19,94	19,40	17,35
300	45,81	49,31	36,57	36,03	33,98	41,16	44,66	30,38	29,84	27,79	29,60	33,10	20,27	19,73	17,68
400	46,15	49,65	36,91	36,37	34,31	41,49	44,99	30,71	30,17	28,12	29,93	33,43	20,60	20,06	18,01
500	46,48	49,98	37,24	36,70	34,65	41,83	45,33	31,04	30,50	28,45	30,27	33,77	20,94	20,40	18,35
600	46,81	50,31	37,57	37,03	34,98	42,16	45,66	31,38	30,84	28,79	30,60	34,10	21,27	20,73	18,68
700	47,15	50,65	37,91	37,37	35,31	42,49	45,99	31,71	31,17	29,12	30,93	34,43	21,60	21,06	19,01
800	47,48	50,98	38,24	37,70	35,65	42,83	46,33	32,04	31,50	29,45	31,27	34,77	21,94	21,40	19,35
900	47,81	51,31	38,57	38,03	35,98	43,16	46,66	32,38	31,84	29,79	31,60	35,10	22,27	21,73	19,68
1000	48,15	51,65	38,91	38,37	36,31	43,49	46,99	32,71	32,17	30,12	31,93	35,43	22,60	22,06	20,01
1100	48,48	51,98	39,24	38,70	36,65	43,83	47,33	33,04	32,50	30,45	32,27	35,77	22,94	22,40	20,35
1200	48,81	52,31	39,57	39,03	36,98	44,16	47,66	33,38	32,84	30,79	32,60	36,10	23,27	22,73	20,68
1300	49,15	52,65	39,91	39,37	37,31	44,49	47,99	33,71	33,17	31,12	32,93	36,43	23,60	23,06	21,01
1400	49,48	52,98	40,24	39,70	37,65	44,83	48,33	34,04	33,50	31,45	33,27	36,77	23,94	23,40	21,35
1500	49,81	53,31	40,57	40,03	37,98	45,16	48,66	34,38	33,84	31,79	33,60	37,10	24,27	23,73	21,68
1600	50,15	53,65	40,91	40,37	38,31	45,49	48,99	34,71	34,17	32,12	33,93	37,43	24,60	24,06	22,01
1700	50,48	53,98	41,24	40,70	38,65	45,83	49,33	35,04	34,50	32,45	34,27	37,77	24,94	24,40	22,35
1800	50,81	54,31	41,57	41,03	38,98	46,16	49,66	35,38	34,84	32,79	34,60	38,10	25,27	24,73	22,68
1900	51,15	54,65	41,91	41,37	39,31	46,49	49,99	35,71	35,17	33,12	34,93	38,43	25,60	25,06	23,01
2000	51,48	54,98	42,24	41,70	39,65	46,83	50,33	36,04	35,50	33,45	35,27	38,77	25,94	25,40	23,35
2100	51,81	55,31	42,57	42,03	39,98	47,16	50,66	36,38	35,84	33,79	35,60	39,10	26,27	25,73	23,68
2200	52,15	55,65	42,91	42,37	40,31	47,49	50,99	36,71	36,17	34,12	35,93	39,43	26,60	26,06	24,01
2300	52,48	55,98	43,24	42,70	40,65	47,83	51,33	37,04	36,50	34,45	36,27	39,77	26,94	26,40	24,35
2400	52,81	56,31	43,57	43,03	40,98	48,16	51,66	37,38	36,84	34,79	36,60	40,10	27,27	26,73	24,68
2500	53,15	56,65	43,91	43,37	41,31	48,49	51,99	37,71	37,17	35,12	36,93	40,43	27,60	27,06	25,01
2600	53,48	56,98	44,24	43,70	41,65	48,83	52,33	38,04	37,50	35,45	37,27	40,77	27,94	27,40	25,35
2700	53,81	57,31	44,57	44,03	41,98	49,16	52,66	38,38	37,84	35,79	37,60	41,10	28,27	27,73	25,68
2800	54,15	57,65	44,91	44,37	42,31	49,49	52,99	38,71	38,17	36,12	37,93	41,43	28,60	28,06	26,01
2900	54,48	57,98	45,24	44,70	42,65	49,83	53,33	39,04	38,50	36,45	38,27	41,77	28,94	28,40	26,35
3000	54,81	58,31	45,57	45,03	42,98	50,16	53,66	39,38	38,84	36,79	38,60	42,10	29,27	28,73	26,68

**Tabla 6.15** Valores de Ruido Audible y Radiointerferencia para la Torre AR2 según la configuración del conductor

Configuración del conductor	ACAR 750 n=1					ACAR 1200 n=1					ACAR 750 n=2				
	Condiciones	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz
Altura [msnm]	Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	Ri [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	Ri [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	Ri [dB/μV/m]		
0	45,16	48,66	35,88	35,34	33,28	40,47	43,97	29,69	29,15	27,10	28,58	32,08	19,66	19,12	17,07
100	45,49	48,99	36,21	35,67	33,62	40,80	44,30	30,03	29,49	27,43	28,92	32,42	20,00	19,46	17,40
200	45,82	49,32	36,54	36,00	33,95	41,13	44,63	30,36	29,82	27,77	29,25	32,75	20,33	19,79	17,74
300	46,16	49,66	36,88	36,34	34,28	41,47	44,97	30,69	30,15	28,10	29,58	33,08	20,66	20,12	18,07
400	46,49	49,99	37,21	36,67	34,62	41,80	45,30	31,03	30,49	28,43	29,92	33,42	21,00	20,46	18,40
500	46,82	50,32	37,54	37,00	34,95	42,13	45,63	31,36	30,82	28,77	30,25	33,75	21,33	20,79	18,74
600	47,16	50,66	37,88	37,34	35,28	42,47	45,97	31,69	31,15	29,10	30,58	34,08	21,66	21,12	19,07
700	47,49	50,99	38,21	37,67	35,62	42,80	46,30	32,03	31,49	29,43	30,92	34,42	22,00	21,46	19,40
800	47,82	51,32	38,54	38,00	35,95	43,13	46,63	32,36	31,82	29,77	31,25	34,75	22,33	21,79	19,74
900	48,16	51,66	38,88	38,34	36,28	43,47	46,97	32,69	32,15	30,10	31,58	35,08	22,66	22,12	20,07
1000	48,49	51,99	39,21	38,67	36,62	43,80	47,30	33,03	32,49	30,43	31,92	35,42	23,00	22,46	20,40
1100	48,82	52,32	39,54	39,00	36,95	44,13	47,63	33,36	32,82	30,77	32,25	35,75	23,33	22,79	20,74
1200	49,16	52,66	39,88	39,34	37,28	44,47	47,97	33,69	33,15	31,10	32,58	36,08	23,66	23,12	21,07
1300	49,49	52,99	40,21	39,67	37,62	44,80	48,30	34,03	33,49	31,43	32,92	36,42	24,00	23,46	21,40
1400	49,82	53,32	40,54	40,00	37,95	45,13	48,63	34,36	33,82	31,77	33,25	36,75	24,33	23,79	21,74
1500	50,16	53,66	40,88	40,34	38,28	45,47	48,97	34,69	34,15	32,10	33,58	37,08	24,66	24,12	22,07
1600	50,49	53,99	41,21	40,67	38,62	45,80	49,30	35,03	34,49	32,43	33,92	37,42	25,00	24,46	22,40
1700	50,82	54,32	41,54	41,00	38,95	46,13	49,63	35,36	34,82	32,77	34,25	37,75	25,33	24,79	22,74
1800	51,16	54,66	41,88	41,34	39,28	46,47	49,97	35,69	35,15	33,10	34,58	38,08	25,66	25,12	23,07
1900	51,49	54,99	42,21	41,67	39,62	46,80	50,30	36,03	35,49	33,43	34,92	38,42	26,00	25,46	23,40
2000	51,82	55,32	42,54	42,00	39,95	47,13	50,63	36,36	35,82	33,77	35,25	38,75	26,33	25,79	23,74
2100	52,16	55,66	42,88	42,34	40,28	47,47	50,97	36,69	36,15	34,10	35,58	39,08	26,66	26,12	24,07
2200	52,49	55,99	43,21	42,67	40,62	47,80	51,30	37,03	36,49	34,43	35,92	39,42	27,00	26,46	24,40
2300	52,82	56,32	43,54	43,00	40,95	48,13	51,63	37,36	36,82	34,77	36,25	39,75	27,33	26,79	24,74
2400	53,16	56,66	43,88	43,34	41,28	48,47	51,97	37,69	37,15	35,10	36,58	40,08	27,66	27,12	25,07
2500	53,49	56,99	44,21	43,67	41,62	48,80	52,30	38,03	37,49	35,43	36,92	40,42	28,00	27,46	25,40
2600	53,82	57,32	44,54	44,00	41,95	49,13	52,63	38,36	37,82	35,77	37,25	40,75	28,33	27,79	25,74
2700	54,16	57,66	44,88	44,34	42,28	49,47	52,97	38,69	38,15	36,10	37,58	41,08	28,66	28,12	26,07
2800	54,49	57,99	45,21	44,67	42,62	49,80	53,30	39,03	38,49	36,43	37,92	41,42	29,00	28,46	26,40
2900	54,82	58,32	45,54	45,00	42,95	50,13	53,63	39,36	38,82	36,77	38,25	41,75	29,33	28,79	26,74
3000	55,16	58,66	45,88	45,34	43,28	50,47	53,97	39,69	39,15	37,10	38,58	42,08	29,66	29,12	27,07

**Tabla 6.16** Valores de Ruido Audible y Radiolnterferencia para la Torre SL2 según la configuración del conductor

Configuración del conductor	ACAR 750 n=1					ACAR 1200 n=1					ACAR 750 n=2				
Condiciones	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz	L <sub>50</sub>	L <sub>5</sub>	0,530 MHz	1,12 MHz	1,7 MHz
Altura [msnm]	Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	RI [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	RI [dB/μV/m]			Ruido audible [dBA]	Ruido audible [dBA]	RI [dB/μV/m]		
msnm	dBA	dBA	dB/μV/m			dBA	dBA	dB/μV/m			dBA	dBA	dB/μV/m		
0	44,81	48,31	35,88	35,34	33,28	40,16	43,66	29,69	29,15	27,10	28,60	32,10	19,66	19,12	17,07
100	45,15	48,65	36,21	35,67	33,62	40,49	43,99	30,03	29,49	27,43	28,93	32,43	20,00	19,46	17,40
200	45,48	48,98	36,54	36,00	33,95	40,83	44,33	30,36	29,82	27,77	29,27	32,77	20,33	19,79	17,74
300	45,81	49,31	36,88	36,34	34,28	41,16	44,66	30,69	30,15	28,10	29,60	33,10	20,66	20,12	18,07
400	46,15	49,65	37,21	36,67	34,62	41,49	44,99	31,03	30,49	28,43	29,93	33,43	21,00	20,46	18,40
500	46,48	49,98	37,54	37,00	34,95	41,83	45,33	31,36	30,82	28,77	30,27	33,77	21,33	20,79	18,74
600	46,81	50,31	37,88	37,34	35,28	42,16	45,66	31,69	31,15	29,10	30,60	34,10	21,66	21,12	19,07
700	47,15	50,65	38,21	37,67	35,62	42,49	45,99	32,03	31,49	29,43	30,93	34,43	22,00	21,46	19,40
800	47,48	50,98	38,54	38,00	35,95	42,83	46,33	32,36	31,82	29,77	31,27	34,77	22,33	21,79	19,74
900	47,81	51,31	38,88	38,34	36,28	43,16	46,66	32,69	32,15	30,10	31,60	35,10	22,66	22,12	20,07
1000	48,15	51,65	39,21	38,67	36,62	43,49	46,99	33,03	32,49	30,43	31,93	35,43	23,00	22,46	20,40
1100	48,48	51,98	39,54	39,00	36,95	43,83	47,33	33,36	32,82	30,77	32,27	35,77	23,33	22,79	20,74
1200	48,81	52,31	39,88	39,34	37,28	44,16	47,66	33,69	33,15	31,10	32,60	36,10	23,66	23,12	21,07
1300	49,15	52,65	40,21	39,67	37,62	44,49	47,99	34,03	33,49	31,43	32,93	36,43	24,00	23,46	21,40
1400	49,48	52,98	40,54	40,00	37,95	44,83	48,33	34,36	33,82	31,77	33,27	36,77	24,33	23,79	21,74
1500	49,81	53,31	40,88	40,34	38,28	45,16	48,66	34,69	34,15	32,10	33,60	37,10	24,66	24,12	22,07
1600	50,15	53,65	41,21	40,67	38,62	45,49	48,99	35,03	34,49	32,43	33,93	37,43	25,00	24,46	22,40
1700	50,48	53,98	41,54	41,00	38,95	45,83	49,33	35,36	34,82	32,77	34,27	37,77	25,33	24,79	22,74
1800	50,81	54,31	41,88	41,34	39,28	46,16	49,66	35,69	35,15	33,10	34,60	38,10	25,66	25,12	23,07
1900	51,15	54,65	42,21	41,67	39,62	46,49	49,99	36,03	35,49	33,43	34,93	38,43	26,00	25,46	23,40
2000	51,48	54,98	42,54	42,00	39,95	46,83	50,33	36,36	35,82	33,77	35,27	38,77	26,33	25,79	23,74
2100	51,81	55,31	42,88	42,34	40,28	47,16	50,66	36,69	36,15	34,10	35,60	39,10	26,66	26,12	24,07
2200	52,15	55,65	43,21	42,67	40,62	47,49	50,99	37,03	36,49	34,43	35,93	39,43	27,00	26,46	24,40
2300	52,48	55,98	43,54	43,00	40,95	47,83	51,33	37,36	36,82	34,77	36,27	39,77	27,33	26,79	24,74
2400	52,81	56,31	43,88	43,34	41,28	48,16	51,66	37,69	37,15	35,10	36,60	40,10	27,66	27,12	25,07
2500	53,15	56,65	44,21	43,67	41,62	48,49	51,99	38,03	37,49	35,43	36,93	40,43	28,00	27,46	25,40
2600	53,48	56,98	44,54	44,00	41,95	48,83	52,33	38,36	37,82	35,77	37,27	40,77	28,33	27,79	25,74
2700	53,81	57,31	44,88	44,34	42,28	49,16	52,66	38,69	38,15	36,10	37,60	41,10	28,66	28,12	26,07
2800	54,15	57,65	45,21	44,67	42,62	49,49	52,99	39,03	38,49	36,43	37,93	41,43	29,00	28,46	26,40
2900	54,48	57,98	45,54	45,00	42,95	49,83	53,33	39,36	38,82	36,77	38,27	41,77	29,33	28,79	26,74
3000	54,81	58,31	45,88	45,34	43,28	50,16	53,66	39,69	39,15	37,10	38,60	42,10	29,66	29,12	27,07