

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**EFFECTO CORONA  
EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 500 kV**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**BYRON VINICIO MENA ARIAS**  
mena\_byron@hotmail.com

**DIRECTOR: MSc. RAÚL CANELOS**  
raul\_canelos@transelectric.com.ec

**Quito, Julio 2008**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Byron Vinicio Mena Arias, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Byron Vinicio Mena Arias

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Byron Vinicio Mena Arias, bajo mi supervisión.

---

MSc. Raúl Canelos.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a Dios y a mis padres, porque siempre recibo las bendiciones que hacen que cada día sea el mejor.

A mis hermanos, que siempre me brindan sabios consejos que me llenan de fortaleza y me impulsan a seguir siempre adelante.

A mi novia, que con su apoyo he sabido llevar acabo lo propuesto, por lo que significa un pilar fuerte en mi vida.

A la Escuela Politécnica Nacional, que me ha brindado sus aulas para formarme como un buen profesional.

A los ingenieros Paúl Ayora, Mario Barba, profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica, que me supieron aconsejar y guiar en decisiones correctas que me llevaron a la culminación del proyecto de titulación.

A la compañía de transmisión de energía eléctrica TRANSELECTRIC, que me dio la oportunidad de realizar el proyecto de titulación en el área de Líneas de Transmisión

A todos los ingenieros del área de Líneas de Transmisión, ya que ellos me proporcionaron enseñanzas, apoyos bibliográficos y me encaminaron en la realización del proyecto de una mejor manera.

A mis compañeros de estudios que siempre serán mis amigos. Que gracias a la ayuda y consejos de ellos he podido obtener grandes cosas en mi vida.

*Per Áspera Ad Astra*

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos. A mi gran familia que siempre me brinda su apoyo incondicional.

*Per Áspera Ad Astra*

## CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iv</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>x</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 GENERALIDADES.....	<b>1</b>
1.2 OBJETIVOS .....	<b>2</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	<b>2</b>
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	<b>2</b>
1.3 ALCANCE .....	<b>3</b>
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>5</b>
<b>GENERALIDADES DEL EFECTO CORONA</b> .....	<b>5</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	<b>5</b>
2.2 NATURALEZA Y MANIFESTACIONES DEL EFECTO CORONA .....	<b>8</b>
2.3 GENERACIÓN DE CORONA EN CONDUCTORES ELÉCTRICOS .....	<b>12</b>
2.3.1 PROCESO DE DESCARGA EN GASES .....	<b>12</b>
2.3.1.1 Características del gas en descarga por corona.....	<b>13</b>
2.3.1.1.1 Procesos Favorables a la Descarga.....	<b>14</b>
2.3.1.1.2 Procesos Desfavorables a la Descarga.....	<b>15</b>
2.3.1.2 Características de los Procesos Elementales.....	<b>15</b>
2.3.2 PROCESO AVALANCHA.....	<b>16</b>
2.3.2.1 Descripción matemática del proceso avalancha.....	<b>17</b>
2.4 TIPOS DE DESCARGAS EN LOS CONDUCTORES DE TRANSMISIÓN .....	<b>18</b>
2.4.1 PROCESO DE CORONA POSITIVA.....	<b>19</b>
2.4.2 PROCESO DE CORONA NEGATIVA .....	<b>21</b>
2.5 VARIABLES QUE INFLUENCIAN EL PROCESO CORONA .....	<b>23</b>
2.5.1 GRADIENTE SUPERFICIAL .....	<b>23</b>
2.5.2 GOTAS DE AGUA Y DISCONTINUIDAD SUPERFICIAL. ....	<b>24</b>

2.5.2.1	Gotas de agua.....	24
2.5.2.2	Discontinuidad superficial.....	25
2.5.3	DENSIDAD DE AIRE Y HUMEDAD .....	26
2.5.3.1	Densidad de aire .....	26
2.5.3.2	Humedad.....	27
2.6	RUTA DE ESTUDIO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV.....	28
2.7	ZONAS CLIMÁTICAS EN LA RUTA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV .....	30
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>33</b>
<b>PÉRDIDAS POR CORONA EN 500 kV .....</b>		<b>33</b>
3.1	INTRODUCCIÓN .....	33
3.2	IMPORTANCIA DEL FENÓMENO .....	34
3.3	MÉTODOS DE CÁLCULO DEL GRADIENTE SUPERFICIAL DE UN CONDUCTOR.....	36
3.3.1	MÉTODO DE COEFICIENTES DE POTENCIAL .....	36
3.3.2	MÉTODO DE MARKT Y MENGELE.....	39
3.4	MÉTODOS DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR CORONA .....	43
3.4.1	MÉTODO DE F. W. PEEK.....	43
3.4.2	MÉTODO DE PETERSON .....	45
3.4.3	MÉTODO DE ELECTRICITÉ DE FRANCE (EDF).....	49
3.4.3.1	Método para buen tiempo.....	49
3.4.3.2	Método para mal tiempo.....	50
<b>CAPÍTULO 4.. .....</b>		<b>54</b>
<b>CONFIGURACIONES DE CONDUCTORES PARA 500 kV .....</b>		<b>54</b>
4.1	INTRODUCCIÓN .....	54
4.2	CONDUCTORES ACAR vs ACSR .....	56
4.3	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE HACES DE CONDUCTORES .....	57
4.3.1	INDUCTANCIA.....	57
4.3.2	CAPACITANCIA.....	62
4.4	HACES DE CONDUCTORES .....	65
4.5	ESPACIADORES DE HACES DE CONDUCTORES .....	66
4.5.1	CARACTERÍSTICAS.....	66
4.5.2	MECANISMO DE ARTICULACIÓN.....	68
4.5.3	SISTEMAS DE SUJECIÓN AL CONDUCTOR .....	68
4.5.3.1	Sujeción Mediante Varillas Preformadas .....	68
4.5.3.2	Sujeción Mediante Grapa Abulonada .....	69
4.5.4	TIPOS DE ESPACIADOR AMORTIGUADOR .....	70

4.5.5	AMORTIGUADOR STOCKBRIDGE (STOCKBRIDGE VIBRATION DAMPER).....	75
4.5.6	SISTEMA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES (SYSTEM OF MEASUREMENT OF VIBRATIONS).....	78
4.6	CONFIGURACIONES DE CONDUCTORES PARA 500 kV EN OTROS PAÍSES.....	80
4.7	TORRES UTILIZADAS EN 500 kV.....	81
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>85</b>
<b>CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN 500 kV.....</b>		<b>85</b>
5.1	CÁLCULO DEL GRADIENTE MÁXIMO .....	85
5.2	CÁLCULO DEL GRADIENTE CRÍTICO .....	85
5.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....	87
5.4	CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR CORONA .....	100
5.4.1	PÉRDIDAS EN BUEN TIEMPO.....	101
5.4.2	PÉRDIDAS EN MAL TIEMPO .....	102
5.4.2.1	Pérdidas en lluvia .....	102
5.4.2.2	Pérdidas en lluvia y humedad.....	104
5.5	COSTOS DE PÉRDIDAS ANUALES POR EFECTO CORONA .....	105
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>110</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>110</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	110
6.2	RECOMENDACIONES .....	112
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>113</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>115</b>
<b>ANEXO 1.....</b>		<b>115</b>
<b>CONSTANTES Y RESISTENCIA DIELECTRICA.....</b>		<b>115</b>
<b>ANEXO 2.....</b>		<b>116</b>
<b>DATOS DE CONDUCTORES .....</b>		<b>116</b>
<b>ANEXO 3.....</b>		<b>118</b>
<b>GRADIENTE MÁXIMO.....</b>		<b>118</b>
<b>ANEXO 4.....</b>		<b>126</b>
<b>GRADIENTE CRÍTICO.....</b>		<b>126</b>
<b>ANEXO 5.....</b>		<b>136</b>
<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS: Caso 1 de la torre S-59 ....</b>		<b>136</b>
<b>ANEXO 6.....</b>		<b>150</b>
<b>PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA A 4000 msnm .....</b>		<b>150</b>
<b>ANEXO 7.....</b>		<b>174</b>
<b>COSTOS DE PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA A 4000 msnm EN LA ESTRUCTURA S-57.....</b>		<b>174</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b>	Factores de superficie “m” .....	<b>25</b>
<b>Tabla 3.1.</b>	Diámetros mínimos de conductores .....	<b>35</b>
<b>Tabla 3.2.</b>	Valores propuestos de “m” .....	<b>46</b>
<b>Tabla 3.3.</b>	Valor de $\varphi$ .....	<b>48</b>
<b>Tabla 3.4.</b>	Determinación del factor “m” .....	<b>52</b>
<b>Tabla 3.5.</b>	Pérdidas específicas por corona en kW / km / fase .....	<b>53</b>
<b>Tabla 4.1.</b>	Espaciador amortiguador gemelo.....	<b>70</b>
<b>Tabla 4.2.</b>	Espaciador amortiguador triple.....	<b>71</b>
<b>Tabla 4.3.</b>	Espaciador amortiguador cuádruple.....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.4.</b>	Espaciador amortiguador séxtuple .....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.5.</b>	Amortiguador stockbridge.....	<b>77</b>
<b>Tabla 4.6.</b>	Configuraciones de conductores para 500 kV .....	<b>80</b>
<b>Tabla 4.7.</b>	Distancias entre fases de las torres.....	<b>84</b>
<b>Tabla 5.1.</b>	Casos de estudio de los factores que modifican el gradiente crítico .....	<b>86</b>
<b>Tabla 5.2.</b>	Costos de pérdidas .....	<b>107</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b>	Corona: Relación entre corriente y voltaje. ....	<b>12</b>
<b>Figura 2.2.</b>	Diferencia visual entre la corona positiva y la corona negativa .....	<b>19</b>
<b>Figura 2.3.</b>	Descarga de corona positiva.....	<b>20</b>
<b>Figura 2.4.</b>	Descarga de corona negativa. ....	<b>22</b>
<b>Figura 2.5.</b>	Sistema de Transmisión de 500 kV.....	<b>29</b>
<b>Figura 2.6.</b>	Climas del Ecuador.....	<b>31</b>
<b>Figura 2.7.</b>	Mapa de climas del Ecuador con la ruta de la línea de transmisión de 500 kV.....	<b>32</b>
<b>Figura 3.1.</b>	Imagen para simular plano de tierra.....	<b>36</b>
<b>Figura 3.2.</b>	Distancias geométricas entre múltiples conductores...	<b>38</b>
<b>Figura 3.3.</b>	Distribución geométrica de un conductor en haz.....	<b>39</b>
<b>Figura 3.4.</b>	Variación periférica del campo en conductor cableado	<b>42</b>
<b>Figura 3.5.</b>	Función de Peterson para cálculo de pérdidas por efecto corona con razón $V/e_d$ entre 0.6 y 2.4. ....	<b>47</b>
<b>Figura 3.6.</b>	Función de Peterson para cálculo de pérdidas por efecto corona con razón $V/e_d$ entre 1 y 19. ....	<b>47</b>

<b>Figura 3.7.</b>	<b>Pérdidas en conductores secos .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 3.8.</b>	<b>Determinación del factor “m” .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 3.9.</b>	<b>Pérdidas específicas por corona en kW / km / fase.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 4.1.</b>	<b>Una fase simétrica, circuito con haz de conductores ...</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.2.</b>	<b>Sistema trifásico con haz de conductores.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 4.3.</b>	<b>Fase con haz de conductores e imagen .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 4.4.</b>	<b>Superficies equipotenciales y líneas de campo en haces de conductores .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 4.5.</b>	<b>Mecanismo de articulación.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.6.</b>	<b>Sujeción mediante varillas preformadas .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 4.7.</b>	<b>Sujeción mediante grapa abulonada.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4.8.</b>	<b>Espaciador amortiguador gemelo .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4.9.</b>	<b>Espaciador amortiguador triple .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4.10.</b>	<b>Espaciador amortiguador cuádruple .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 4.11.</b>	<b>Espaciador amortiguador séxtuple.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 4.12.</b>	<b>Espaciador con grapa preformada doble .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 4.13.</b>	<b>Espaciador con grapa preformada triple .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4.14.</b>	<b>Espaciador con grapa preformada cuádruple .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4.15.</b>	<b>Espaciador con grapa abulonada doble.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 4.16.</b>	<b>Espaciador con grapa abulonada triple.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 4.17.</b>	<b>Espaciador con grapa abulonada cuádruple .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 4.18.</b>	<b>Amortiguador stockbridge .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4.19.</b>	<b>Amortiguador stockbridge .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4.20.</b>	<b>Esquema del amortiguador stockbridge.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4.21.</b>	<b>Sistema de medición de vibraciones.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 4.22.</b>	<b>Sistema de medición de vibraciones en brazo del espaciador .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 4.23.</b>	<b>Sistema de medición de oscilación de subvano .....</b>	<b>79</b>

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación se enfoca en el análisis del efecto corona en líneas de transmisión de 500 kV, de tal manera de obtener una configuración adecuada, que satisfaga condiciones propias del medio al que se exponen las líneas de transmisión a construirse en el país.

Las configuraciones de conductores que se utilizan para este nivel de voltaje son de mayor diámetro. Esto significa que se reemplaza un solo conductor por fase por un modelo de haces de conductores, obteniendo más de un conductor por fase.

Esto hace que se tenga un estudio de diferentes configuraciones de conductores que se utilizan en varios países que poseen este nivel de voltaje de operación.

Mediante métodos estadísticos utilizados en cálculos de gradientes de superficie en los conductores (método de Markt Mengele) y pérdidas por efecto corona (método de Peek), se realiza este estudio. Mediante el cual se obtiene comparaciones de resultados de todas las configuraciones expuestas hasta obtener la mejor.

Para este estudio se llega a determinar que la mejor opción de configuración de conductores para 500 kV es la formada por 3 conductores por fase, con conductor 950 ACAR, con una separación entre subconductores de 45.7 cm, que satisface la mayoría de condiciones a las que se expone la línea.

Esta configuración presenta bajas pérdidas en buen tiempo y el menor número de pérdidas en mal tiempo. Y debido a que los conductores ACAR presentan mejores características técnicas y económicas frente a los ACSR, se designa como la configuración óptima para este nivel de voltaje.

## **PRESENTACIÓN**

En el capítulo 1 se presenta la introducción, objetivos, alcance y justificación del proyecto, que son la base del mismo.

En el capítulo 2 se explica una idea de cómo es el efecto corona, sus características, manifestaciones, variables que influyen, de tal manera, de conocer más acerca este fenómeno. Además se presenta la posible ruta de la línea de transmisión de 500 kV a implantarse en el país.

En el capítulo 3 se detallan los métodos de cálculo para el efecto corona, tanto para el gradiente de superficie de los conductores, como para el cálculo de las pérdidas en los mismos.

En el capítulo 4 se describe los haces de conductores con sus respectivas características eléctricas, tipos de espaciadores de los haces de conductores, las configuraciones de conductores y las estructuras utilizadas en 500 kV en diferentes países del mundo, que van a ser analizados en este proyecto.

En el capítulo 5 se realizan todos los cálculos de los gradientes máximos y críticos, comparación de los resultados, se detallan el cálculo de pérdidas por efecto corona de todas las configuraciones expuestas para varios casos de estudio a una altura de 4000 msnm por ser la condición más crítica y por último el costo de las pérdidas para las condiciones mencionadas anteriormente, teniendo en cuenta la estructura más apropiada.

En el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado, teniendo en cuenta todos los detalles expuestos. De tal forma que se tenga una idea clara de lo tratado en el proyecto, asimismo recomendaciones que se pueden utilizar de guía para nuevas investigaciones.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

Las líneas de transmisión de EHV tienen como consecuencias de sus características la provocación de pérdidas, es por eso que sus diseños se los debe realizar tomando en cuenta este aspecto.

El efecto corona es una manifestación de pérdidas en las líneas de transmisión, por tal motivo se realiza un estudio de este fenómeno que involucra todos los aspectos relacionados.

Cuando el campo eléctrico en la superficie de los conductores de una línea de transmisión excede a la rigidez dieléctrica del aire, o sea a la resistencia de la descarga se produce este fenómeno.

La reducción del campo eléctrico propio de los conductores se la puede realizar aumentando el diámetro de los mismos, esto se lo puede conseguir utilizando arreglos de conductores denominados haces de conductores, que hacen que ficticiamente se tenga un conductor de mayor diámetro.

Para líneas de transmisión de 500 kV, siempre se utilizan configuraciones de haces de conductores. Se debe escoger la que más esté de acuerdo a las condiciones de operación del sistema. Tomando en cuenta condiciones atmosféricas (presión, temperatura, humedad, etc) y también condiciones propias de la configuración (distancias de separación entre subconductores, diámetro de cada conductor, separación entre fases, etc).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar el efecto corona en líneas de transmisión de 500 kV, de tal manera de obtener la mejor configuración de conductores que conlleve a menores pérdidas por este efecto, para tener un mejor transporte de energía eléctrica.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el efecto corona desde un rango de variación de la altura sobre el nivel del mar desde 0 m.s.n.m. hasta 4000 m.s.n.m, para ver cómo varía el efecto corona en estas condiciones.
- Analizar el efecto corona en haces de conductores utilizados en aplicaciones de otros países con el mismo nivel de voltaje.
- Analizar el efecto corona con condiciones de climas favorables y desfavorables, es decir, en tiempo seco, lluvioso, húmedo.
- Determinar las condiciones climáticas más óptimas de funcionamiento de las configuraciones de conductores que se toma en cuenta en el estudio.
- Determinar los costos de pérdidas por efecto corona.
- Determinar la mejor configuración de conductores y estructuras para 500 kV de los que ya se utilizan en el mundo, de tal manera que se pueda aplicar al sistema ecuatoriano.

### **1.3 ALCANCE**

Analizar varias configuraciones de conductores utilizadas alrededor del mundo en niveles de voltaje de 500 kV, de tal manera, de determinar cuál de estas configuraciones es la más óptima para contrarrestar el efecto corona, dependiendo de condiciones climáticas y altura sobre el nivel del mar donde se vaya a construir la línea de transmisión.

Analizar factores dentro de las condiciones antes mencionadas como son: en la condición de clima, se analiza en estado seco, lluvia y humedad; en la condición de altura sobre el nivel del mar, se analiza desde un rango de 0 m.s.n.m hasta 4000 m.s.n.m, considerando como este último como el nivel más crítico.

Obtener de la configuración óptima los datos necesarios para su respectivo análisis, número de conductores por fase utilizados (haz de conductores), calibre y tipo del conductor, separación de los subconductores del haz, separación de las fases (de acuerdo a la estructura utilizada), el tipo de espaciador amortiguador a utilizarse en el sistema.

Realizar un análisis de los costos de pérdidas por efecto corona para entender como influye en la realización del proyecto.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

El transporte de energía eléctrica ocasiona, inevitablemente, una alteración del ambiente en el cual se desarrolla. Entre las perturbaciones más importantes se puede citar a los campos eléctricos y magnéticos que generan las instalaciones eléctricas, así como el impacto visual y el efecto corona vinculado a perturbaciones de ruido audible y radio interferencia.

El efecto corona produce una emisión de energía acústica y energía electromagnética en el rango de las radiofrecuencias, de forma que los conductores pueden generar ruido e interferencias en la radio y la televisión; otra consecuencia es la producción de ozono y óxidos de nitrógeno. La intensidad de dicho ruido depende del gradiente superficial de campo eléctrico en los conductores, de su estado superficial y de las condiciones atmosféricas.

La condición climática que produce la máxima intensidad de efecto corona es la lluvia. La condición más desfavorable, es la posterior a la lluvia, cuando el ruido de la misma ha cesado y el conductor se encuentra húmedo, situación en que la generación de efecto corona es muy intensa. El efecto de la humedad relativa del aire, lluvia o niebla, hace que las pérdidas por efecto corona varíen directamente proporcional, es decir, si aumenta cualquiera de estos factores, aumentan las pérdidas por efecto corona.

Las líneas de transmisión se diseñan para que las pérdidas en su capacidad de transporte de energía debido al efecto corona sea mínimas, es por eso que se debe tener una idea de cuánto son las pérdidas por este efecto para poder contrarrestar este efecto que en niveles de tensión elevados se presenta más frecuentemente.

A nivel de 500 kV (EHV), el gradiente eléctrico en la superficie de los conductores aumenta, por lo tanto, el efecto corona se incrementa. El incremento de los conductores por fase hará reducir este efecto debido a que se incrementa el radio del conductor.

## CAPÍTULO 2

### GENERALIDADES DEL EFECTO CORONA

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

“La corona es una descarga luminosa debido a la ionización del aire que rodea una causa del electrodo por un gradiente de voltaje que excede cierto valor crítico”.<sup>1</sup>

Se llaman descargas por corona al conjunto de fenómenos de descarga autónoma que precede la distensión. Si se aplica un elevado potencial al conductor central, el campo eléctrico es máximo en la superficie del conductor. Cuando el campo aplicado en la superficie del conductor supera un valor de límite máximo o supera la rigidez dieléctrica del aire, la ionización aparece en proximidad inmediata del conductor. Consiste en que algunos electrones adquieren la suficiente energía para abandonar el conductor por donde circulan, siendo capaces de saltar hacia el aire circundante, que teóricamente no es conductor. Esto provoca que se forme un haz luminoso en torno a los conductores, que en noches oscuras es visible desde grandes distancias.

La potencia a transportar es directamente proporcional al cuadrado de la tensión, por lo que se desprende que para aumentar la capacidad de transporte de una línea, se debe aumentar la tensión de la línea. Este razonamiento tiene un límite impuesto por el efecto corona, el cual comienza a tener efecto cuando el gradiente de potencial sobre la superficie del conductor supera los 30 kVp/cm en condiciones climáticas normales.

En el anexo 1 se puede observar las constantes y resistencia dieléctrica en varios materiales.

---

<sup>1</sup> Según definición de la IEEE.

La intensidad del efecto corona es función del campo eléctrico en la superficie de los conductores, por lo tanto, de la tensión de la línea, diámetro, disposición, estado físico de los conductores y de las condiciones meteorológicas existentes. El campo eléctrico se relaciona directamente con el voltaje de línea y es más grande en la superficie del conductor. Los conductores de gran diámetro tienen gradientes más bajos de campo eléctrico en la superficie del conductor por lo que bajan el efecto corona en relación a conductores con menor diámetro. Las irregularidades de la línea concentran el campo eléctrico en estas localizaciones, aumentando el efecto corona en estos puntos. La contaminación en la superficie del conductor, tal como polvo o insectos, puede también causar irregularidades dando por resultado corona. Otras fuentes de irregularidades incluyen las gotas de agua, nieve, la niebla, y la humedad. [1]

Las líneas eléctricas se diseñan para que el efecto corona sea mínimo, puesto que también suponen una pérdida en su capacidad de transporte de energía; en su aparición e intensidad influyen los siguientes condicionantes:

- Tensión de la línea: mientras mayor sea la tensión de operación de la línea, mayor será el gradiente eléctrico en la superficie del conductor, por lo tanto, mayor efecto corona. En realidad sólo se produce en líneas de tensión superior a 80 kV.
- Humedad relativa del aire: una mayor humedad, especialmente en caso de lluvia o niebla, incrementa de forma importante el efecto corona.
- Estado de la superficie del conductor: las rugosidades, irregularidades, defectos, impurezas adheridas, etc., incrementan el efecto corona.
- Número de subconductores: el efecto corona será menor cuanto más subconductores tenga cada fase de la línea. [2]

El proceso real del efecto corona cuando los electrones siempre viajan a través de materiales metálicos, el aire es un material aislante, y por tanto no apto para el paso de electrones. Todo ocurre como si el aire se volviera conductor (o como mínimo menos aislante), unido a condiciones de funcionamiento de la línea

anormales (exceso de tensión) que permiten a algunos electrones dejar su vía normal para saltar al aire. Pero claro, el aire no es un metal, por tanto estos electrones que viajan a través de él, se verán frenados desde las grandes velocidades nulas en cuestión de unos pocos centímetros. Este rozamiento provocará aumento de temperatura en los electrones, llevándolos al estado incandescente.

La unión de millones de estos electrones libres formará un anillo luminoso alrededor del conductor. Este anillo seguirá la forma del conductor, ya que así lo harán las líneas de tensión a él asociadas (gradiente de tensión), pero como normalmente los conductores tienen la forma cilíndrica, el anillo luminoso también tendrá esa forma, pareciendo que el conductor lleve un anillo o corona luminosa.

Las descargas corona son de muy corta duración (entre  $10^{-8}$  y  $10^{-7}$  segundos) y generan energía electromagnética dentro de un amplio rango de frecuencias que abarcan la banda de radiodifusión.

En el estado inicial de la descarga por corona aparece cerca del electrodo una descarga autosostenible cuando la fuerza del campo no es muy grande, debida a los movimientos de los iones formados bajo la influencia de los ionizadores atmosféricos. Su corriente es pequeña e independiente de la densidad de formación de iones. Cuando la fuerza del campo alcanza cierto valor crítico, el gas comienza a brillar repentinamente, con una luz azul cerca del electrodo y aparece un sonido característico, mientras que la corriente en el punto se incrementa a valores de microamperios o más.

La intensidad de este efecto determinará el color del anillo siendo el color rojizo cuando el efecto no es muy importante (menor temperatura) o tendiendo al blanco o azulado cuando el efecto es importante (mayor temperatura)

Cualquier corona en los conductores sería observable solamente bajo condiciones más oscuras y solamente con la ayuda de binoculares. Sin un

período de adaptación para los ojos y sin intención de buscar la corona, no sería probable observarla.

“El efecto corona es un fenómeno ampliamente conocido y no representa ningún peligro para la salud. En este sentido, ningún efecto (debido al efecto corona) es suficientemente importante para afectar la salud.”<sup>2</sup>

## **2.2 NATURALEZA Y MANIFESTACIONES DEL EFECTO CORONA [3] [4]**

Los efectos derivados de este fenómeno son:

- ruido audible
- perturbaciones a frecuencias de radio y televisión
- generación de ozono
- pérdidas de energía
- viento iónico

### *Ruido audible*

Se manifiesta como un zumbido persistente, con ciertas detonaciones esporádicas. Fuera de ser un efecto que puede causar cierta impresión, principalmente a quien desconoce su origen, es relativamente despreciable en sistemas bajo 400 kV, con conductores bien diseñados. La percepción del efecto es mayor en condiciones de llovizna o neblina, aún cuando su intensidad máxima es bajo lluvia fuerte.

Constituyen un parámetro de causa mayor en la determinación del tipo y dimensión de los conductores, de modo que si se eligen bien los conductores para garantizar un nivel aceptable de interferencia radiofónica, el ruido audible no

---

<sup>2</sup> Organización Mundial de la Salud en una Nota Descriptiva publicada en noviembre de 1998

debe ser un problema. Como referencia, para una línea de 500 kV, a 25 metros de distancia del conductor más próximo y en condiciones de neblina o lluvia, su intensidad es similar al existente en zona urbana (45-55 dB) y en buen tiempo, similar al existente en zona rural (25-35 db).

### *Perturbaciones a frecuencia de radio y televisión*

Las pequeñas descargas en aire en torno al conductor o en la superficie de aisladores, generan impulsos eléctricos que se propagan a través del conductor, en ambos sentidos, o entre conductor y tierra por la superficie de los aisladores y están dentro de una amplia gama de frecuencias.

Las corrientes de alta frecuencia generan campos electromagnéticos de alta frecuencia que se irradian desde los conductores y aisladores. Pueden ser transmitidas por los transformadores o conducidas por el conductor neutro para alcanzar a los receptores (radio y TV) y crear perturbaciones llamadas interferencias radio-televisión.

Las perturbaciones a frecuencia de radio se caracterizan por tres parámetros que son en primera aproximación, independientes:

- su variación en función de la frecuencia
- su variación con la distancia en dirección transversal a la línea.
- su variación con las condiciones climáticas.

### *Generación de ozono*

El ozono es un estado alotrópico del oxígeno, de fórmula  $O_3$ . Se produce permanentemente en forma natural, bajo la influencia de radiaciones ultravioletas emitidas por el sol, la descomposición de productos naturales de la tierra, etc. Es inestable (retorna espontáneamente al estado de  $O_2$ ) y su concentración natural a

altura del mar es de 3,0 partes por 100 millones en volumen, subiendo a 3,6 a los 2000 metros de altura.

En condiciones de laboratorio se ha determinado que la producción de ozono en una instalación de alta tensión oscila entre 0.5 y 5 g por kW/h disipado en efecto corona dependiendo de las condiciones meteorológicas.

En días secos, con conductores limpios y configuraciones diseñadas para minimizar los campos eléctricos, las pérdidas por efecto corona y la producción de ozono serán reducidas.

Durante la lluvia, con conductores sucios y otras circunstancias desfavorables, pueden producirse distorsiones locales del campo eléctrico que incrementen las pérdidas por efecto corona y, con ellas, la producción de ozono.<sup>3</sup>

La medida y los cálculos del ozono cerca de líneas de la transmisión demuestran que los incrementos locales en los niveles del gas son insignificantes.<sup>4</sup>

El ozono es un oxidante muy activo y en concentraciones elevadas es tóxico para los seres vivos. Provoca un envejecimiento acelerado del tejido orgánico. Por esta razón, se especifica que para el ser humano, la concentración máxima de ozono debe ser 10 partes por 100 millones para una jornada de 8 horas.<sup>5</sup>

La concentración de ozono que se encuentra bajo las líneas de alta tensión es 20 veces inferior al admitido por normas. Aproximadamente 90 por ciento de los oxidantes son ozono, mientras que los 10 por ciento restantes se componen de óxidos de nitrógeno.

---

<sup>3</sup> Producción de Ozono (Fuente, EsIA del año 1997)

<sup>4</sup> Frydman y otros 1972; Roach y otros 1973.

<sup>5</sup> Expuesto por normas americanas y británicas

El ozono producido por líneas de transmisión puede ser detectado, pero los óxidos del nitrógeno han estado generalmente debajo del límite de detección. Las concentraciones de cada uno, sin embargo, son insignificantes y no se anticipa ningún efecto como resultado de líneas de transmisión. [3]

### *Pérdidas de energía*

Las pérdidas de energía anuales causadas por efecto corona son relativamente escasas. Es sobre todo en mal tiempo que estas pérdidas se vuelven pasajeramente importantes. Las pérdidas máximas durante cortos períodos perturbados, por ejemplo bajo la lluvia o la nieve, hasta pueden alcanzar cientos de kW/km. Este aumento de las pérdidas tiene una influencia negativa sobre la entrega de energía, sobre todo durante los períodos de punta.

### *Viento iónico*

Una de las consecuencias de las descargas por corona es la creación del viento iónico. Los iones creados por estas descargas son acelerados por el campo eléctrico. La velocidad se transfiere a las moléculas del gas ambiente por la colisión, dándole un movimiento de la punta de la aspereza hacia el medio del gas.

Cuando se aplica un campo eléctrico a un gas, los electrones libres se desplazan en el sentido opuesto al campo aplicado. Entran en colisión elástica con las moléculas del gas y gracias estas colisiones elásticas, la energía cinética y por lo tanto la velocidad de los electrones aumentan cuando la energía cinética de los electrones se vuelve importante, ella puede producir colisiones inelásticas con los átomos neutros del gas.

Tras la colisión, el electrón es rápido y lleva la mayor parte de la energía cinética no consumida en la reacción. Esta posibilidad que tienen los electrones de acumular la energía cinética entre varios choques conduce a una ionización

por impacto entre electrones y moléculas en un campo eléctrico que tiene una intensidad relativamente baja. [4]

## 2.3 GENERACIÓN DE CORONA EN CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los iones son generados debido a la actividad parcial de la descarga presente en el aire cerca del electrodo. Esto sucede cuando el voltaje aplicado entre dos electrodos excede el voltaje crítico. Debajo de este voltaje, ninguna corriente entre dos electrodos puede ser detectada. Después que el voltaje exceda el valor crítico, la corriente está presente en el aire, según lo ilustrado en Figura 2.1. Un aumento posterior en voltaje conduce a una corriente dramáticamente de aumento hasta que ocurre contorneo, que marca la interrupción eléctrica del gas.

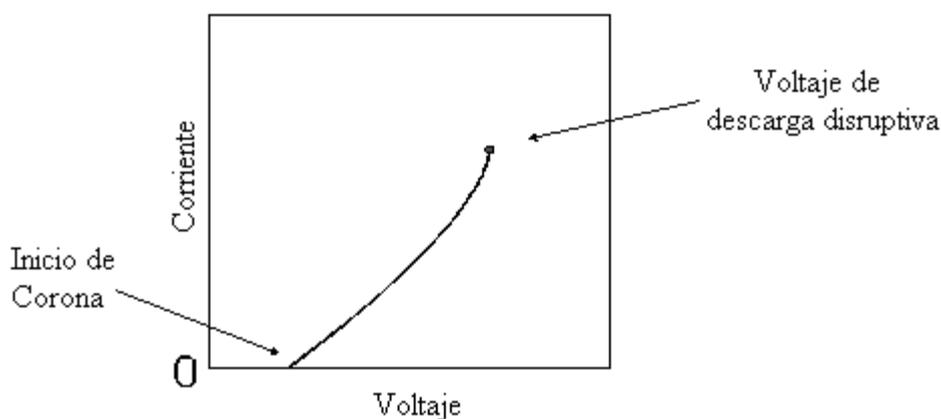


Figura 2.1. Corona: Relación entre corriente y voltaje.

### 2.3.1 PROCESO DE DESCARGA EN GASES

Existe siempre en el aire una serie de electrones libres, creados por radiaciones cósmicas o debidas a la ionización natural por las sustancias radioactivas en la tierra.

### 2.3.1.1 Características del gas en descarga por corona

En conductores sólidos y líquidos, los electrones se están moviendo en cierta gama del espacio: vibre alrededor de su posición de balance o muévase a través del conductor libremente. Los sólidos y líquidos tienen una estructura compacta y conectada, que permite el recorrido cargado de las partículas fácilmente a través del material. Cuando un campo eléctrico se aplica a un sólido o líquido, es más fácil que las partículas cargadas se muevan por el medio, creando la corriente eléctrica comparada al gas.

El gas se compone de moléculas neutrales sin electrones libres e iones bajo condiciones normales. Su densidad, normalmente está en el orden de  $10^{19}$  moléculas neutrales por  $\text{cm}^3$ , es mucho más baja comparada con los materiales sólidos y líquidos. Los gases son buenos aisladores eléctricos, sin embargo, cuando el potencial entre dos electrodos aumenta substancialmente, alcanza un punto donde la ionización y la conductividad del gas aumentan dramáticamente.

La descarga por corona corresponde a una descarga parcial en un gas, localizada en una zona limitada del espacio y que no significa la pérdida completa de las propiedades aislantes del gas, por cuanto, el resto del gas conserva sus propiedades dieléctricas originales. Se presenta en campos no uniformes, en zonas con grandes intensidades de campo, o cuando la dimensión de los electrodos es mucho menor que la distancia que los separa.

Cuando el campo eléctrico o gradiente de potencial alcanza la “rigidez dieléctrica del aire” (aproximadamente 30 kV/cm a presión atmosférica normal), el aire se ioniza, se hace conductor y se produce una descarga local.

Existen diversos procesos elementales que contribuyen, detienen o retardan la producción de cargas eléctricas en el aire; de acuerdo con su acción, se puede clasificar en procesos favorables y desfavorables a la descarga.

### 2.3.1.1.1 Procesos Favorables a la Descarga

#### *Fotoionización*

El bombardeo de fotones sobre los átomos de un gas por luz ultravioleta, rayos cósmicos, radio actividad natural, radiaciones, etc., es capaz de ionizarlos cuando la energía del fotón incidente es al menos igual a la energía de ionización de la partícula gaseosa. Si es que existe un excedente de energía, éste se transmite al electrón en forma de energía cinética.

#### *Ionización por choque*

Los electrones libres se desplazan y aceleran por la acción de un campo eléctrico como es por ejemplo el generado por una línea de transmisión. En su movimiento, el electrón encuentra átomos y moléculas de los gases del aire, chocando con ellos.



El choque puede ser de dos clases: elástico e inelástico (según si la energía del electrón sea alta o baja).

En el choque elástico no ocurren cambios en la energía interna de las partículas ni en su estructura, solamente el electrón pierde algo de su energía, que ya era relativamente baja.

Si el choque es inelástico, ocurren cambios de energía interna en el átomo neutro colisionado, los cuales pueden ser:

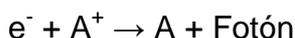
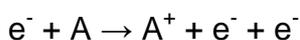
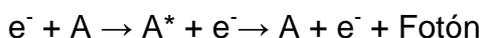
*Excitación:* El átomo pasa a un estado de mayor energía interna por desplazamiento orbital de sus electrones. Por lo general, este estado es

inestable, desprendiéndose de la energía en exceso mediante la emisión de un fotón, al recuperar el electrón su órbita original.

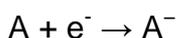
*Ionización:* Si la energía del electrón es aún mayor, el choque tiene por consecuencia el desprendimiento de un electrón del átomo chocado. El átomo primitivamente neutro, al quedar con un electrón menos, adquiere carga positiva y se convierte en un ión positivo.

### 2.3.1.1.2 Procesos Desfavorables a la Descarga

*Recombinación:* Para el caso de choque entre un electrón y un ión positivo, sin la energía suficiente para producir algunos de los resultados ya descritos, ocurre una neutralización de ambas cargas. La reacción produce la liberación de una cierta cantidad de energía la cual es radiada en forma de un fotón, por lo tanto:



*Enlace con molécula neutra:* Un electrón libre dotado de escasa energía puede chocar con un átomo neutro ligándose a él y formando así un ión negativo: El ión negativo tiene menor movilidad que el electrón y por ese motivo, a pesar de conservarse la carga, la descarga tiende a neutralizarse.



### 2.3.1.2 Características de los Procesos Elementales [5]

Los procesos descritos se caracterizan por ser fenómenos probabilísticos; cada uno tiene una probabilidad de ocurrencia que depende principalmente de la

densidad del gas y de la energía que poseen las partículas que lo forman. La probabilidad de choque de la partícula incidente es variable con la energía. En el caso de ionización, la probabilidad es nula si la energía es menor que aquella llamada “de ionización” que es típica del elemento que se trate. Crece con el aumento de energía y luego disminuye. En el caso de fotones, las consideraciones son las mismas, sólo que la probabilidad es máxima cuando está más cerca del nivel de ionización.

En los procesos favorables a la descarga actúan principalmente electrones. Los iones, por su gran masa y dimensiones, tienen muy baja movilidad, por lo que la probabilidad de ionizar por choque es bajísima, por lo tanto, los iones pueden ser considerados inmóviles con respecto a los electrones.

### **2.3.2 PROCESO AVALANCHA [6]**

Siempre existe un cierto número de pares ión-electrón libres en el aire normalmente creado por fotoionización producto de radiaciones naturales, que son los encargados de iniciar el proceso de formación de descargas. Si un electrón choca con un átomo, y otro electrón es liberado, ambos son acelerados por el campo. Y si este campo tiene la intensidad suficiente, cada uno de estos electrones adquiere energía suficiente para desprender más electrones por colisión. De esta forma, se produce una reacción en cadena que aumenta la cantidad de electrones y de iones muy rápidamente, formándose una avalancha.

Para que esta multiplicación de electrones se produzca en aire a presión normal, es necesario que el número de electrones liberados por ionización sea superior a los ligados por recombinación. Para que una avalancha se transforme en una descarga, se debe alcanzar una cierta magnitud del gradiente de voltaje crítico, que depende de la polaridad del conductor; luego, en tensión alterna, el fenómeno es diferente en cada semiciclo, por efecto del cambio de polaridad del conductor.

### 2.3.2.1 Descripción matemática del proceso avalancha

Townsend investigó el proceso de la ionización y expresó la ionización del electrón en forma de la ecuación diferencial como:

$$d_n = \alpha \cdot n \cdot dx \quad 2.1$$

Donde  $d_n$  es el aumento incremental en el número de electrones producidos por  $n$  electrones que se mueven una distancia  $dx$  en el campo eléctrico. El coeficiente  $\alpha$  varía con las características y la densidad del gas que es función de la fuerza del campo eléctrico. Para las condiciones de campo eléctrico uniforme y descarga por corona,  $\alpha$  es una constante y 2.1 se pueden integrar:

$$n = n_0 \cdot e^{\alpha \cdot x} \quad 2.2$$

Donde  $n_0$  es el número de electrones libres en  $x$  igual a cero. En un caso más general, donde el campo varía con  $x$ , haciendo  $\alpha$  una función de  $x$ :

$$n = n_0 \cdot e^{\int_0^x \alpha \cdot x} \quad 2.3$$

Además de las moléculas de ionización basadas en colisiones de alta energía, los electrones pueden unir a muchas moléculas neutras a los iones negativos del gas. Esto sucede más fácilmente para los elementos electronegativos, tales como halógeno, oxígeno, y sulfuro que son deficientes de electrones en sus capas externas del electrón y por lo tanto tienen alta afinidad del electrón. Los gases tales como  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , y  $\text{SF}_6$  son fuertemente electronegativos. El hardware del electrón puede reducir grandemente la ionización del electrón. El hardware del electrón se puede expresar como:

$$n = n_0 \cdot e^{-\eta \cdot x} \quad 2.4$$

Donde  $\eta$  es el coeficiente del hardware que es función de las características del gas y de la fuerza del campo eléctrico. Combinando 2.3 y 2.4 se produce el valor para de un campo uniforme:

$$n = n_0 \cdot e^{(\alpha-\eta)x} \quad 2.5$$

En campos eléctricos bajos,  $\eta$  excede a  $\alpha$ , y el número de electrones declina con la distancia. En el valor de umbral,  $\alpha=\eta$ , y  $n$  es constante. Para campos eléctricos altos,  $\alpha$  excede a  $\eta$ , y el número de electrones aumenta con la distancia.

## **2.4 TIPOS DE DESCARGAS EN LOS CONDUCTORES DE TRANSMISIÓN**

Hay dos tipos de descarga por corona: corona positiva y corona negativa. La diferencia visual se la puede ver en la figura 2.2. La polaridad de la descarga por corona es determinada por la muestra del voltaje aplicado al electrodo de corona. Zeleny describió la diferencia llamativa en aspecto visual entre la corona positiva y negativa. La corona positiva aparece como resplandor inmóvil, difuso sobre el extremo del punto, mientras que la corona negativa aparece cuando un conductor localizado origina un punto minúsculo en el extremo y se separa hacia fuera en el espacio.

Para una geometría dada, el voltaje de inicio por corona y la interrupción eléctrica del gas ocurren en voltajes más altos para la corona negativa que para la positiva.

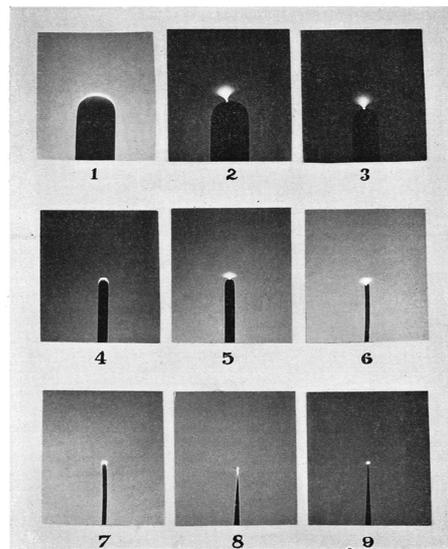


Figura 2.2. Diferencia visual entre la corona positiva y la corona negativa

Figs. 1, 4, 7 muestran descargas de poca intensidad positivas de puntos en aire;  
Figs. 2, 3, 5, 6, 8, 9 muestran descargas negativas (aumento x 6).

#### 2.4.1 PROCESO DE CORONA POSITIVA [7]

El proceso de ionización para corona positiva, se entiende y se describe bien en la figura 2.3. Un alto potencial positivo se aplica al electrodo alto de corona de curvatura en el extremo. El electrodo colector bajo de curvatura en el extremo se pone a tierra o se fija a un potencial más bajo. Los electrones naturales libres en la proximidad cercana a los electrodos son acelerados hacia el electrodo de corona por el campo eléctrico.

En la región del plasma, varios micrones de la superficie del electrodo de corona, alcanzan un nivel crítico por la intensidad del campo eléctrico. En la región donde existe el campo crítico, las colisiones de electrones y moléculas neutrales del gas en la región de ionización dan lugar a los electrones que se rompen libremente de las moléculas neutrales del aire. Este proceso crea los electrones libres e iones positivos que alternadamente son acelerados por las fuerzas de Coulomb.

Los electrones e iones libres también se producen con la fotoionización. Los fotones se emiten de los electrones mientras que decaen en niveles de energía más bajos en la región del plasma. En aire seco,  $O_2^+$  y  $N_2^+$  son los portadores principales de la carga. La región de ionización de corona positiva es caracterizada por un uniforme resplandor débil, azulado púrpura a lo largo de la superficie del electrodo.

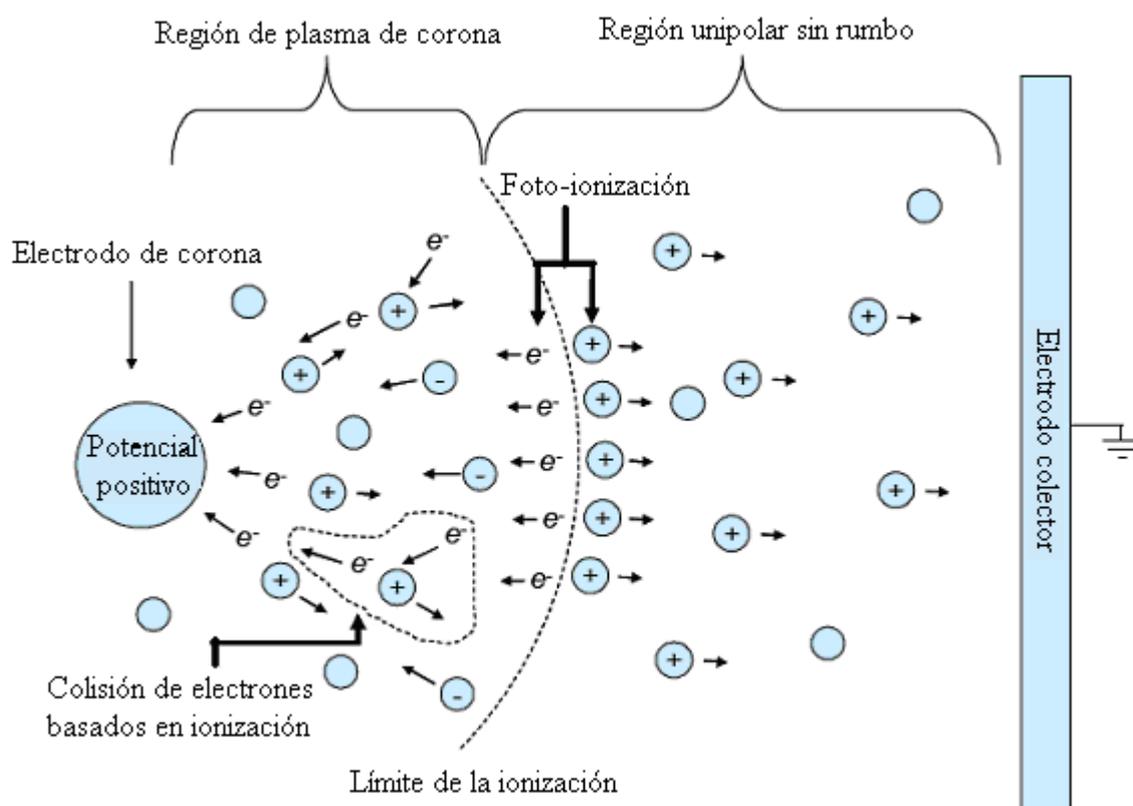


Figura 2.3. Descarga de corona positiva.

Los electrones libres pueden también unir a las moléculas electronegativas del gas, tales como  $O_2$ , formando iones negativos, o pueden recombinar con iones positivos. Cerca del electrodo de corona, los electrones tienen energías medias para sostener la ionización neta, sin embargo, como la distancia de la superficie del electrodo de corona aumenta, el índice de ionización disminuye. La localización donde son iguales el índice de ionización y el índice combinado, es la localización de la ionización y del límite de la región del plasma. Fuera de la región del plasma de corona, la fuerza del campo es escasa para producir pares

inducidos por colisión de electrón-ion. En esta área, existen solamente iones de la misma polaridad que el electrodo de corona. Los iones unipolares (iones de una sola polaridad) se propulsan desde el borde de la región de corona hacia el electrodo de colector. Cualquier ion negativo restante dentro de la región de corona será dibujado hacia el electrodo de corona. Debido a la curvatura baja de la extremidad del electrodo de colector, el campo eléctrico es relativamente débil y ninguna ionización ocurre cerca de ella.

La corona positiva tiene un voltaje positivo muy alto aplicado en el electrodo de corona, que genera un campo eléctrico fuerte. Este campo con intensidad alta ioniza las moléculas en el ion positivo con pares de electrones en aire. Mientras se mueven, bombardean otras moléculas neutras y las rompen en iones más positivos y en electrones. Todos los iones positivos se propulsan hacia el electrodo de colector.

#### **2.4.2 PROCESO DE CORONA NEGATIVA [7]**

El proceso de la ionización para una corona negativa, se ilustra en la figura 2.4. Los mecanismos que dan lugar a una corona negativa son similares a los de la corona positiva. Un alto potencial negativo se aplica al electrodo de corona y el electrodo de colector se pone a tierra o se fija en un potencial más bajo. Semejantemente al panorama de la corona positiva, los electrones naturales en el aire inician el proceso de la avalancha del electrón. Los electrones secundarios en la corona negativa son producidos sobre todo por fotoemisión de la superficie del electrodo de corona. La producción de electrones por fotoemisión del electrodo de corona depende parcialmente de emparejar la energía de fotones emitidos a la función de trabajo del material del electrodo de corona. En la región de ionización, la producción de electrones libres por colisiones del electrón con las moléculas del aire es mayor.

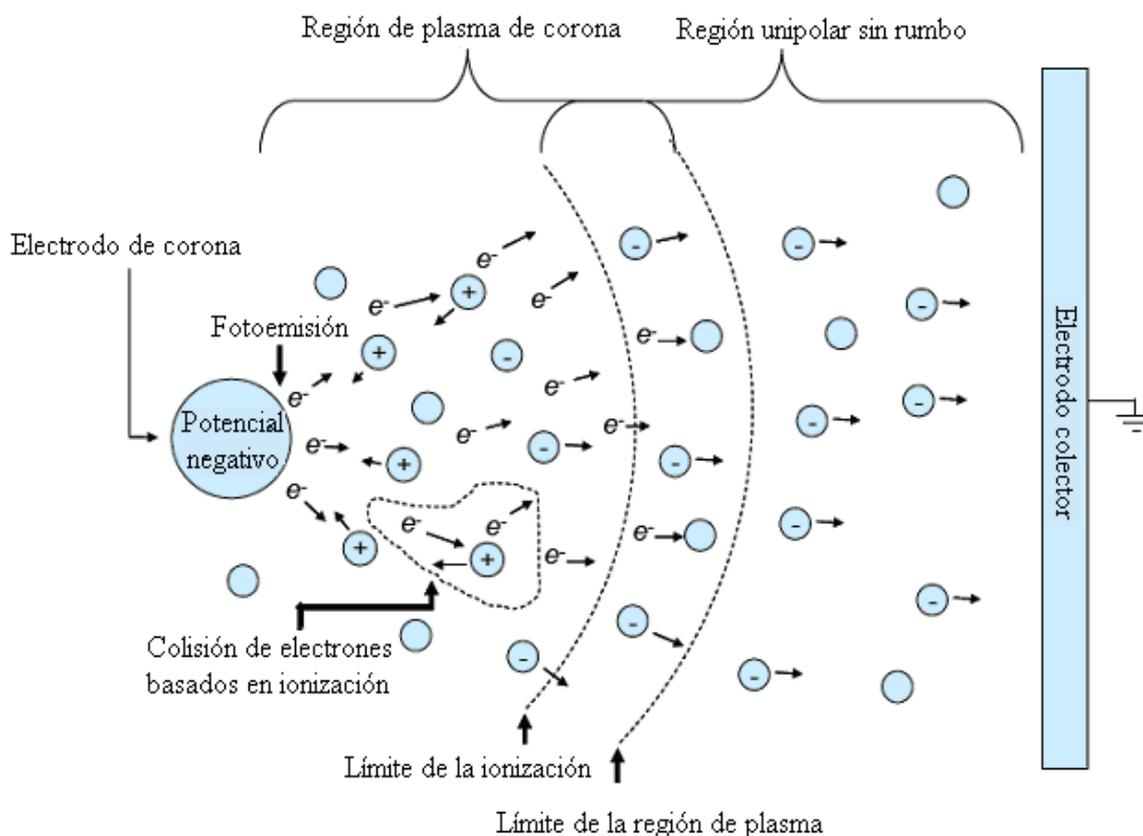


Figura 2.4. Descarga de corona negativa.

Desemejante al caso de la corona positiva, los electrones se propulsan fuera de la región de ionización, donde bombardean otras moléculas neutras del aire. Este bombardeo puede producir ciertas reacciones químicas. El bombardeo del electrón fuera de la región de ionización crea un volumen más grande en el cual las reacciones puedan ocurrir. Este volumen más grande, es responsable de un orden de aumento de la magnitud en exceso de las tasas de generación de ozono, de los generados en la corona positiva. La corona negativa toma visualmente como descargas azuladas púrpuras que sean discontinuas a lo largo del electrodo. Las descargas en el conductor de una corona negativa son caracterizadas por los pulsos intermitentes de Trichel, que pueden alcanzar frecuencias de  $2 \cdot 10^5$  Hz. La corona negativa se encuentra solamente en gases electronegativos, tales como oxígeno, vapor de agua, y bióxido de carbono. Una corona negativa no ocurrirá en gases puros tales como nitrógeno, hidrógeno, helio, y argón.

En el caso de corona negativa, la intensidad del campo eléctrico es también alta y está presente alrededor del electrodo de corona, y el voltaje aplicado al electrodo es negativo. Los pares positivos del ion y del electrón se generan en la atmósfera ambiente del cable de corona, pero los iones positivos son atraídos al electrodo de corona y los electrones negativos se propulsan al electrodo de colector. Teniendo masa mucho más pequeña, los electrones se mueven más rápidamente que los iones. La fijación de algunos electrones a las moléculas neutras del aire produce iones negativos.

## 2.5 VARIABLES QUE INFLUENCIAN EL PROCESO CORONA

### 2.5.1 GRADIENTE SUPERFICIAL

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; 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.

Cuando se somete un conductor a una tensión creciente, el campo crítico del efecto corona es definido por la aparición brusca de una importante conductividad del aire en su vecindad inmediata, según F.W. Peek, para una configuración cilíndrica, la aparición del efecto de corona es función del campo superficial, del radio del conductor y de la densidad del aire según la siguiente relación:

$$E_c = E_p \cdot \delta \cdot m \cdot \left( 1 + \frac{K}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \quad 2.6$$

Donde:

$E_c$  = gradiente superficial crítico en kVrms/cm

$E_p$  es el campo superficial en condiciones normales,  $E_p = 21.21$  kVrms/cm

K es el coeficiente,  $K = 0.308$

r = radio del conductor en cm

$\delta$  = densidad relativa del aire

m = factor determinado por la geometría de los hilos que arreglan al conductor y condiciones atmosféricas [4].

## 2.5.2 GOTAS DE AGUA Y DISCONTINUIDAD SUPERFICIAL

### 2.5.2.1 Gotas de agua [8]

Las fuerzas eléctricas pueden superar a veces la tensión de superficie de la gota de agua. Boulet y Jakubczyk encontraron que ocurre la interrupción de la gota cuando:

$$E \geq 0.447 \cdot \sqrt{\frac{s}{r}} \quad 2.7$$

Donde:

E = gradiente superficial del conductor en kV/cm

s = tensión superficial del agua en dinas/cm

r = radio de la gota en cm

El punto del conductor formado por una deformación y gotas de agua es una fuente fuerte de ruido de radio y de pérdidas por corona. Estas gotas se recogen en la parte inferior del conductor y recorren a través de lo largo de los filamentos. Cuando el campo eléctrico aumenta, se observan sucesivamente vibraciones laterales a la frecuencia de la red, oscilaciones verticales y desplazamientos horizontales de la gota sobre el conductor.

La gota de agua forma un cono vibrante, los períodos de eyección son intermitentes así como la descarga por corona que toma la forma de impulsos para la semialternancia negativa y una luz estable para la positiva. El agua, en forma de lluvia o llovizna, después de un corto período es capaz de formar una película en torno al conductor. Debido al efecto de la gravedad, en la parte inferior del conductor se acumulan estas gotas de agua, que constituyen discontinuidades en la superficie del conductor y originan nuevas fuentes de corona. El agua reduce los niveles de gradiente crítico, provocando de esta forma mayores pérdidas corona y niveles de interferencias superiores. La corrección de estas variables se hace a través del coeficiente de superficial y ambiental "m".

### 2.5.2.2 Discontinuidad superficial

Los cálculos de gradiente superficial para conductores de líneas de transmisión se hacen frecuentemente considerando conductores cilíndricos, de superficie lisa. Debido a las ralladuras, melladuras y otros daños que pueden existir sobre la superficie de los conductores cableados, el gradiente crítico es menor, de allí que el efecto corona se inicia siempre en estas irregularidades y por ello se trata de que los conductores no sufran daños durante la construcción. Se considera un factor de corrección "m", llamado coeficiente de estado de superficie y ambiental, para el gradiente crítico, el cual se estima por:

<b>Factor "m<sub>c</sub>" 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 "m<sub>t</sub>" ambiental</b>	
1	Seco
0.8	Húmedo
0.16 - 0.25	Lluvia

Tabla 2.1. Factores de superficie "m"

El factor “m” total se lo puede calcular mediante:

$$m = m_t \cdot m_c \quad 2.8$$

Los fenómenos descritos, permiten afirmar que la superficie de un conductor libera iones de ambos signos. Como la tensión es alterna, algunos son atraídos hacia el conductor, conforme su polaridad en el momento en que se considere mientras que otros, son rechazados y se alejan hacia moléculas neutras para formar iones pesados. Al cambiar la polaridad del conductor se reinicia la ionización por choque.

### 2.5.3 DENSIDAD DE AIRE Y HUMEDAD

#### 2.5.3.1 Densidad de aire [9]

Paschen en 1889 descubrió experimentalmente que el voltaje de interrupción en una separación de aire con campo uniforme depende del producto de la longitud de espaciamento y de la presión de gas dentro del mismo.

Si la densidad del aire varía por efecto de la temperatura o presión, esto afecta la rigidez dieléctrica del aire y por consiguiente, el gradiente crítico. Dentro del rango de presiones encontradas usualmente, la densidad de aire aumenta con la presión y disminuye con la temperatura. La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) da la siguiente expresión para  $\delta$ , la densidad relativa del aire:

$$\delta = \frac{0.3921 \cdot P}{273 + T} \quad 2.9$$

Donde:

P: presión del aire, en mm Hg.

T: temperatura del aire, en °C.

Mediante la Fórmula de Halley se puede obtener la presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar.

$$P = 10^{\log(760) - \frac{y}{18336}} \quad 2.10$$

Donde  $y$  es la altura sobre el nivel del mar en metros.

La temperatura del aire puede estimarse como:

$$T = 25 - \frac{y}{200} \quad 2.11$$

### 2.5.3.2 Humedad

Es la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera. A cada temperatura le corresponde un límite característico en la cantidad de vapor de agua que la atmósfera pueda contener. Este límite es el punto de saturación. El cociente entre la cantidad de vapor contenida en la atmósfera y la máxima que podría contener se expresa en forma de porcentaje y se denomina humedad relativa.

La humedad relativa de la atmósfera puede variar por dos motivos. Si existe una superficie de agua sometida a evaporación, esta hará aumentar la humedad relativa. El otro motivo es una variación de la temperatura. Aunque no se añada vapor de agua a la atmósfera, un descenso de la temperatura se traduce en un aumento de la humedad relativa. Este hecho es automático y consecuencia lógica de la disminución de la capacidad de la atmósfera para contener el vapor de agua al descender la temperatura, de esta forma, la cantidad de vapor de agua ya existente representa un porcentaje más alto de la capacidad total de la atmósfera. De manera similar, un ascenso de la temperatura se traduce en una disminución de la humedad relativa aunque el vapor de agua

presente en el aire sea el mismo. La temperatura crítica correspondiente a la saturación y por debajo de la cual tiene lugar la condensación, se denomina punto de rocío. [10]

El vapor de agua actúa como gas electronegativo con una afinidad apreciable para capturar electrones para las moléculas de agua. Esta influencia beneficiosa del vapor de agua depende fuertemente del índice de crecimiento de las descargas repetitivas por corona. La influencia es mucho más pronunciada para propagaciones lentas de larga duración de las descargas repetitivas por corona para un microsegundo rápido o avalanchas más cortas.

La humedad afecta al efecto corona en los conductores de dos maneras. Primera, una humedad más alta suprime avalanchas del electrón y, segunda, la humedad más alta crea una mayor concentración de vapor de agua en el conductor y crea más puntos corona realzando las pérdidas. [8]

## **2.6 RUTA DE ESTUDIO DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV**

“En el referido plan de expansión se estableció como la mejor alternativa para evacuar la generación de los proyectos Coca Codo Sinclair y Sopladora hacia el SNI, la implementación de un Sistema de Transmisión a 500 kV, que además de unir los principales centros de carga de Quito y Guayaquil, mediante subestaciones que estarían ubicadas cerca de estas ciudades, en Pifo y en Yaguachi, respectivamente, las mismas que se interconectarán mediante una línea de transmisión de 500 kV, cuyo recorrido sería Quito(Pifo)–Ambato–Guaranda–Babahoyo–Guayaquil(Yaguachi), permitirá la implementación de sistemas radiales de 500 kV desde Pifo hacia Coca Codo Sinclair y desde Yaguachi hacia Sopladora, tal como se presenta en la Figura 2.5.”<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Sistema de Transmisión de 500 kV. Descripción de la Pre-factibilidad del Proyecto. Mayo - 2008

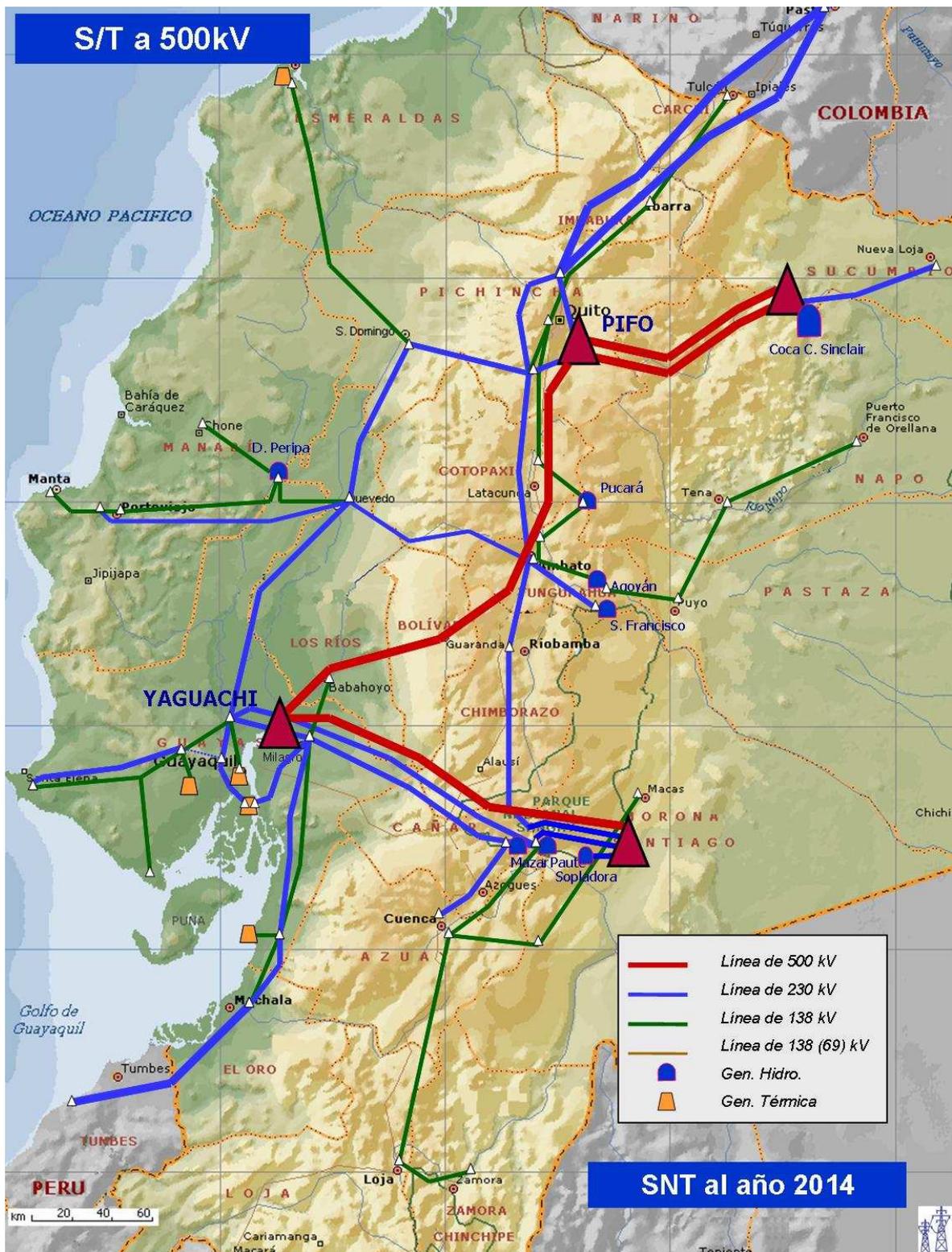


Figura 2.5. Sistema de Transmisión de 500 kV

## **2.7 ZONAS CLIMÁTICAS EN LA RUTA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE 500 kV**

El territorio del Ecuador está dividido en tres regiones naturales claramente definidas entre sí, ya sea por su topografía, clima, vegetación y población. Estas tres regiones son: Costa, Sierra y Oriente.

El suelo de la región Litoral es generalmente bajo, con pequeñas elevaciones que no sobrepasan los 800 m de altura sobre el nivel del mar.

La región de la Sierra está atravesada por la cordillera de los Andes que la recorre de Norte a Sur. Las altitudes varían desde los 1200 hasta los 6000 m.

La región Oriental está formada por llanuras virtualmente no exploradas. Sus condiciones naturales son semejantes a todas las regiones tropicales del mundo.

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la cordillera de los Andes, el Ecuador presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Ciertas áreas del Ecuador reciben la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad.

Se cuentan con climas tropicales y templados, regiones con características subtropicales, situadas principalmente en las estribaciones de las dos cordilleras; también encontramos zonas desérticas, semi-desérticas, estepas frías y cálidas, etc. Los climas del Ecuador se los puede visualizar en la Figura 2.6.

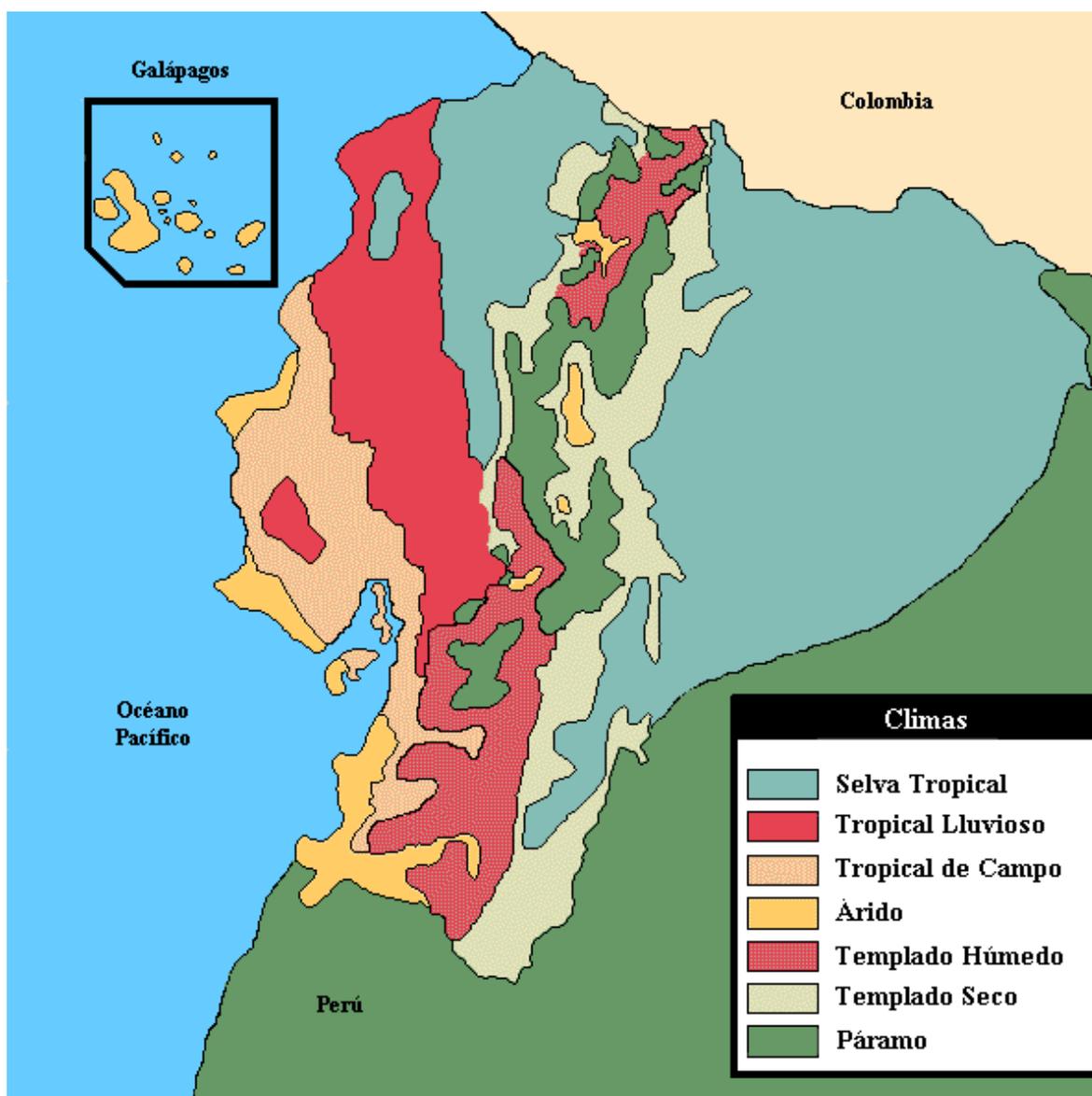


Figura 2.6. Climas del Ecuador

Se puede diferenciar varias de las zonas climáticas por las cuales pasará la línea de transmisión de 500 kV. En la figura 2.7., se puede visualizar las diferentes zonas climáticas; así, los climas que afectan la línea son: selva tropical, templado seco, páramo, árido, tropical lluvioso, templado húmedo. En definitiva gran parte de la variedad de climas existentes en Ecuador. Es por eso, que el análisis se lo realiza para condiciones: lluvia, seca y humedad, de tal manera, lograr obtener coeficientes de variación de climas ( $m_t$ ) de acuerdo al mapa de clima del Ecuador.

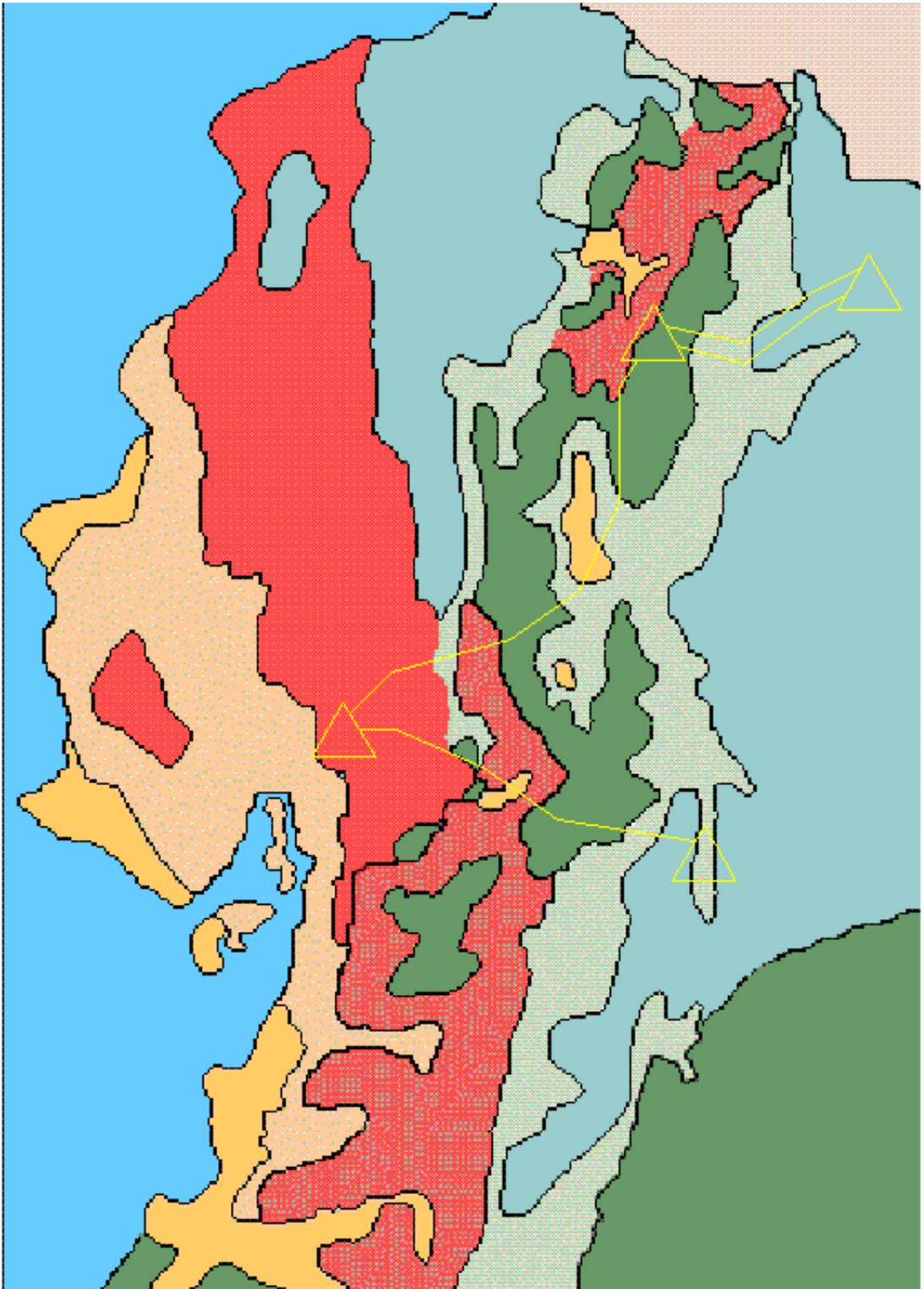


Figura 2.7. Mapa de climas del Ecuador con la ruta de la línea de transmisión de 500 kV

## **CAPÍTULO 3**

### **PÉRDIDAS POR CORONA EN 500 kV**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Las pérdidas por corona ocurren en los conductores de líneas de transmisión cuando el gradiente de voltaje cerca del conductor excede el gradiente de potencial del aire. Todas las manifestaciones de liberación de energía electromagnética deben ser provistas por la generación eléctrica.

Resultados de estudios abarcan cantidades grandes de datos estadísticos sobre pérdidas por corona como función de la geometría del conductor, gradientes del conductor, voltajes y condiciones meteorológicas a las cuales están sujetas las líneas. Se ha encontrado, por ejemplo que las pérdidas por corona en una línea de EHV pueden fluctuar de algunos kilovatios por kilómetro por fase en buen tiempo, así como varios cientos de kilovatios por kilómetro por fase en lluvia o nieve. El promedio de pérdidas por corona fue encontrada que es solamente una porción pequeña de las pérdidas de  $I^2R$ , pero se ha visto que las pérdidas máximas tienen una influencia significativa con los requerimientos de la demanda.

Las pérdidas de energía son debidas al efecto Joule y al efecto Corona, ligadas respectivamente a la corriente y al voltaje aplicado. Ambas pérdidas se reducen aumentando el diámetro del conductor, que implica un aumento de sección, e incrementos en los costos de las instalaciones no es entonces posible reducir pérdidas y simultáneamente reducir el costo de la obra. Por lo tanto, la selección del conductor es el componente que justifica la existencia de la línea y su elección acertada es la decisión más importante en la fase de proyecto de una línea de transmisión.

Comúnmente, estas pérdidas se expresan en kW / km / fase, pero resulta difícil de obtener un modelo analítico que permita calcularlas de manera exacta, debido a la gran cantidad de variables involucradas. Los resultados son obtenidos usando relaciones empíricas y métodos estadísticos.

### **3.2 IMPORTANCIA DEL FENÓMENO**

Las pérdidas por corona contribuyen a la reducción de la eficacia en la transmisión de energía. Cualquier transferencia de energía de los campos eléctricos a las partículas cargadas tales como electrones da lugar a pérdidas por corona que es un índice de energía fuera del conductor de la línea de transmisión. La mayor parte de esta transferencia de energía es térmica, mientras que algo se convierte en ruido.

El tiempo atmosférico desempeña un papel importante en la producción de corona. Los depósitos ambientales tales como la contaminación pueden cambiar las características de la superficie de una línea de transmisión. Estos depósitos junto con la lluvia y la nieve, pueden distorsionar el campo eléctrico. Las gotas de agua que bajan cerca de la superficie del conductor pueden dar lugar a microdescargas entre las gotas que pasan y la superficie del conductor.

El flujo de corriente de la carga en los conductores de la línea de transmisión afecta la cantidad de pérdidas por corona. Corrientes de carga, aumentan la temperatura del conductor sobre la temperatura ambiente, aumentando el aire que rodea el conductor. Este aire más caliente aumenta las pérdidas por corona.

Para atenuar la corona, es importante tener un conductor grande, de superficie limpia, sin ningún vacío o imperfección que generen el realce de la tensión del campo.

Para líneas con distinto número de conductores puede adoptarse un diámetro que sea al menos igual al indicado en la tabla 3.1., que sirve como referencia para disminuir las pérdidas por efecto corona

Formación del haz	$d_{min} \text{ (mm)} / U_n \gg \gg$	138 kV	230 kV	345 kV	500 kV
<b>Conductor simple</b>	$0.1 U_n^*$	13.8	23	34.5	50
<b>Conductor doble</b>	$0.076 U_n$	10.48	17.48	26.22	38
<b>Haz triple</b>	$0.05 U_n$	6.9	11.5	17.25	25
<b>Haz cuádruple</b>	$0.042 U_n$	5.79	9.66	14.49	21

\*  $U_n$  es la tensión máxima de operación (fase - fase)

Tabla 3.1. Diámetros mínimos de conductores

Las pérdidas son pequeñas con buen tiempo (ambiente seco) y alcanzar valores elevados con mal tiempo (lluvia intensa), es evidente que una buena evaluación de estas pérdidas requiere conocimiento de las condiciones meteorológicas de las regiones que la línea atraviesa, registros climáticos de muchos años, de los cuales con procedimientos estadísticos se extrae el número de horas de lluvia que finalmente permite efectuar la evaluación de las pérdidas anuales.

Puede adoptarse un valor medio de pérdidas por corona en líneas de una misma clase que atraviesan regiones con condiciones meteorológicas similares. Cuando no se cuenta con datos, se puede adoptar valores de líneas que en el mundo son buen ejemplo y que están comprendidos entre 2 y 20 kW / km / fase al variar la tensión entre 220, 230 kV y 500, 550 kV para buen tiempo.

Para líneas de transmisión de 500 y 700 kV, en mal tiempo las pérdidas por corona puede exceder los 300 kW / km / fase. Pérdidas de esta magnitud pueden ser una carga apreciable de energía y modificar los requerimientos de reserva. La presencia de agua, hielo o nieve en conductores de EHV crean una serie continua de puntos en los cuales se forma el efecto corona.

### 3.3 MÉTODOS DE CÁLCULO DEL GRADIENTE SUPERFICIAL DE UN CONDUCTOR

Se mencionan dos métodos utilizados para el cálculo del gradiente máximo superficial de un conductor, el primero se utiliza para un conductor por fase; el segundo método se utiliza para multiconductores por fase. El segundo método será utilizado en este proyecto para el cálculo del gradiente máximo en los conductores.

#### 3.3.1 MÉTODO DE COEFICIENTES DE POTENCIAL [5]

El Método de Coeficientes de Potencial permite encontrar las cargas de un sistema de conductores, mediante la aplicación directa de la teoría de imágenes: se reemplaza el plano de tierra por la imagen del conductor con respecto al plano.

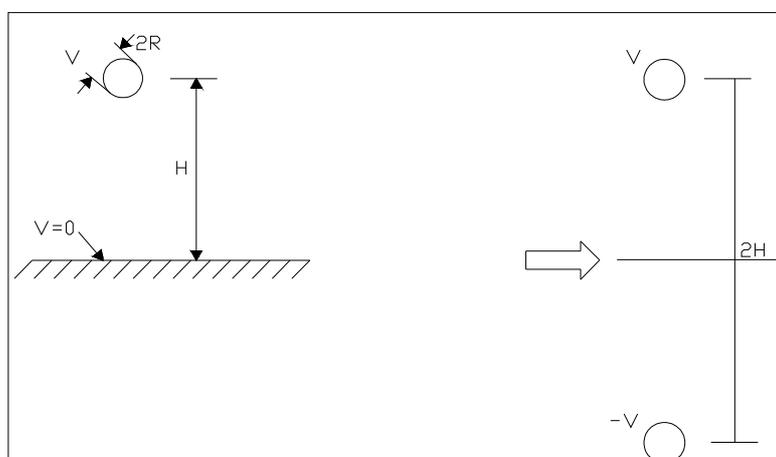


Figura 3.1. Imagen para simular plano de tierra

La distribución de carga de un conductor y su imagen pueden ser exactamente representadas por líneas de carga, cuya posición, si la razón entre altura sobre el suelo con respecto al radio del conductor es alta ( $H/R > 100$ ), coincide muy estrechamente con el centro del conductor. De este modo se obtiene el gradiente superficial del conductor, dado por la expresión:

$$E = \frac{V}{R \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot H}{R}\right)} \quad 3.1$$

Donde:

V: potencial del conductor.

R: radio del conductor.

H: altura media del conductor.

En términos de la magnitud de carga, el potencial puede expresarse como:

$$V = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot H}{R}\right) \quad 3.2$$

Basado en este principio básico, se puede determinar el campo eléctrico en configuraciones de conductores simples, donde tanto la altura de los conductores como la separación entre ellos son muy grandes en comparación con el radio del mismo. Para ello, se definen los coeficientes de potencial propio del conductor "i" ( $p_{ii}$ ) y mutuo entre conductores "i" y "j" ( $p_{ij}$ ) como:

$$p_{ii} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot H_i}{R_i}\right) \quad p_{ij} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \ln\left(\frac{D_{ij}'}{D_{ij}}\right) = p_{ji} \quad 3.3$$

Donde las distancias geométricas  $D_{ij}$  y  $D_{ij}'$  quedan definidas en la figura 3.2.

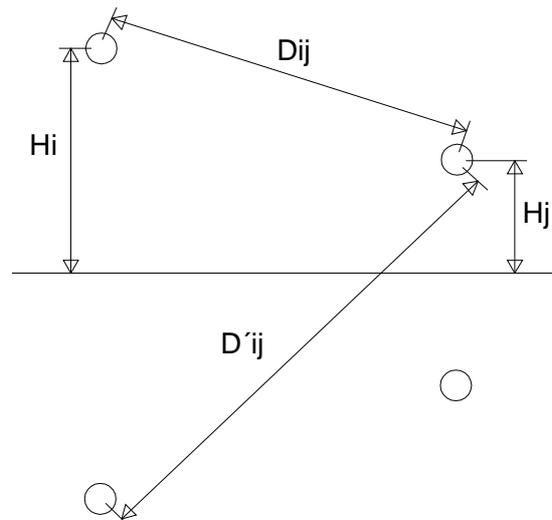


Figura 3.2. Distancias geométricas entre múltiples conductores

Considerando superposición, el potencial total debido a los  $n$  conductores simples es:

$$V_i = p_{i1}q_1 + \dots + p_{ij}q_j + \dots + p_{jn}q_n \quad i = 1, 2, \dots, n \quad 3.4$$

Este conjunto de ecuaciones puede expresarse como:

$$V = [P] \cdot Q \quad 3.5$$

Con lo que se llega a:

$$Q = [P]^{-1} \cdot V = [C] \cdot V \quad 3.6$$

De donde se obtiene el gradiente superficial promedio a lo largo de cada conductor simple:

$$E_{mi} = \frac{q_i}{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_o \cdot R} \quad 3.7$$

### 3.3.2 MÉTODO DE MARKT Y MENGELE [11] [12]

Este método se lo utiliza para el cálculo de gradiente máximo superficial en líneas con conductores en haz. Su aplicación se divide en tres etapas:

#### *Primera Etapa*

Consiste en reemplazar el haz de conductores por un conductor único equivalente de igual capacitancia; por lo tanto, para un haz de “n” subconductores, distribuidos regularmente en un círculo de radio R, como lo muestra la figura 3.3.

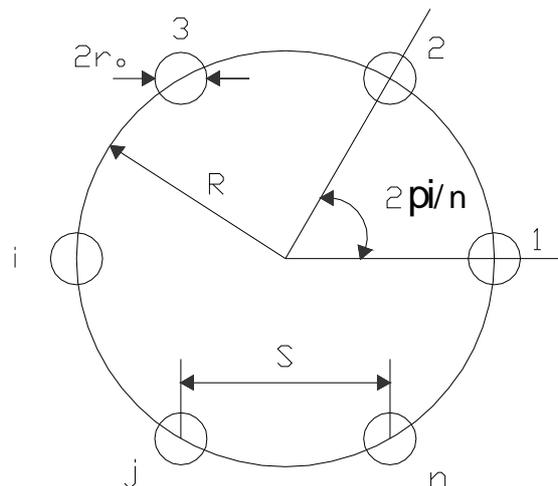


Figura 3.3. Distribución geométrica de un conductor en haz

$$R = \frac{S}{2 \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right)} \quad 3.8$$

Donde:

R = radio del círculo de los subconductores en cm

S = separación de los subconductores en cm

n = número de subconductores

Un conductor único colocado en el centro del haz, de igual capacitancia que éste, debería llevar la misma carga total, al mismo potencial. El radio de este conductor ficticio es:

$$r_{eq} = \sqrt[n]{n \cdot r_o \cdot R^{n-1}} \quad 3.9$$

Donde:

$r_{eq}$  = radio equivalente del haz de igual capacidad en cm

$r_o$  = radio del subconductor en cm

### *Segunda Etapa*

Se calcula el gradiente del conductor:

$$E(\alpha) = E_{sub} \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot (n-1) \cdot r_o}{S} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right) \cdot \cos(\alpha) \right] \quad 3.10$$

Donde:

$\alpha$  = ángulo que determina la posición del campo en un punto

$E_{sub}$  = voltaje promedio del gradiente en la superficie del subconductor en kVp/cm o kVrms/cm

El voltaje promedio del gradiente en la superficie del subconductor se puede determinar por:

$$E_{sub} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U}{n \cdot r_o \cdot \ln\left(\frac{D}{r_{eq}}\right)} \quad 3.11$$

Donde:

D = distancia media geométrica entre fases en cm

U = voltaje nominal fase – fase en kV

El gradiente máximo en la superficie del conductor, puede ser calculado fijando  $\alpha$  a cero en  $E(\alpha)$ , es decir, después de sustituir  $E_{\text{sub}}$  en  $E(\alpha)$ , el gradiente máximo será:

$$E_{\text{max}} = E_{\text{sub}} \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot (n-1) \cdot r_o}{S} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right) \right] \quad 3.12$$

o

$$E_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U \cdot \frac{1 + \frac{2 \cdot (n-1) \cdot r_o}{S} \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right)}{\left[ n \cdot r_o \cdot \ln \frac{D}{\sqrt[n]{n \cdot r_o \cdot \left( \frac{S}{2 \cdot \text{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right)} \right)^{n-1}}} \right]} \quad 3.13$$

### Tercera Etapa

El gradiente superficial promedio se define como el promedio aritmético de los gradientes superficiales medios de subconductores individuales.

Y el gradiente superficial promedio máximo del haz está dado por la expresión:

$$E_M = E_{\text{max}} \cdot \left( 1 + \frac{r_o}{R} \right) \quad 3.14$$

Para el caso de conductor hecho con hebras existe una expresión en función del gradiente superficial promedio y del ángulo sobre la periferia del conductor debido a la no uniformidad del gradiente de voltaje en ésta; la expresión está dada por:

$$E(\theta) = E_M \cdot \left( 1 + \frac{r_h}{r_o} \cdot \cos(\theta) \right) \quad 3.15$$

Donde:

$r_h$ : radio de la hebra.

$r_o$ : radio medio del conductor.

De esto resulta como campo superficial máximo:

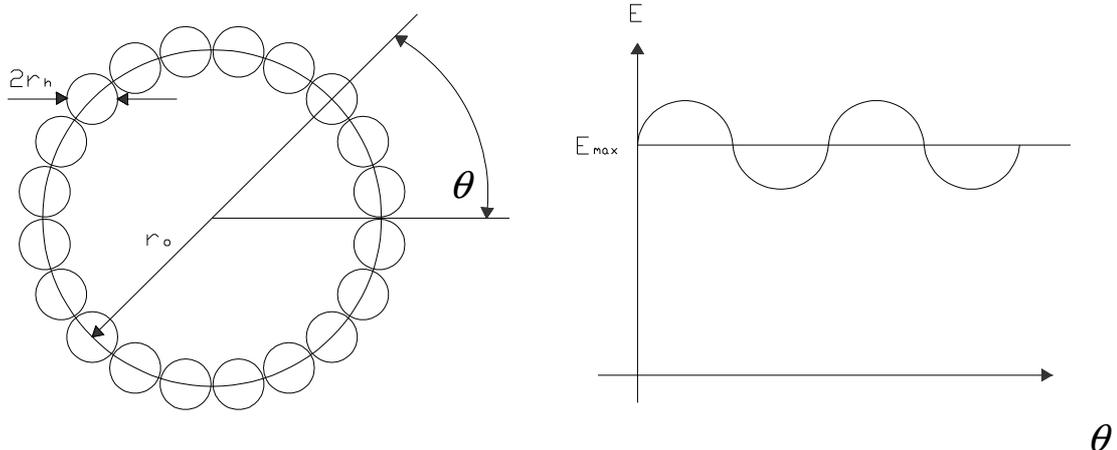


Figura 3.4. Variación periférica del campo en conductor cableado

De esto resulta como campo superficial máximo:

$$E_{Max} = E_M \left( 1 + \frac{r_h}{r_o} \right) \quad 3.16$$

Similar a un solo conductor, la controlabilidad teórica de la descarga de corona debe satisfacer esta condición:

$$E_{\max} < E_c = 30 \cdot m \cdot \delta \cdot \left( 1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \quad \text{Ley de Peek} \quad 3.17$$

Es decir, el gradiente eléctrico del conductor  $E_{\max}$  debe ser menor que el  $E_c$  del gradiente del inicio de la corona para limitar teóricamente descarga de corona. Para voltajes bajo los 230 kV, las configuraciones de un conductor por fase pueden ser usadas normalmente en las líneas de transmisión bajo buenas condiciones climáticas. Si el gradiente eléctrico máximo es mayor que el gradiente crítico, se recomienda utilizar haces de conductores para limitar las pérdidas generadas por corona. Los haces de conductores alcanzan radios más grandes en todas las superficies exteriores, ayudando a que el voltaje se reduzca al mínimo de tal modo que controle la corona.

Un buen diseño de haz de conductor es uno donde el conductor equivalente del haz puede satisfacer los requisitos del excedente de un solo conductor equivalente.

### 3.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR CORONA

Para el cálculo de pérdidas por corona se utilizan métodos que se diferencian esencialmente por el tipo de conductor de la línea y por las condiciones atmosféricas.

#### 3.4.1 MÉTODO DE F. W. PEEK [3] [13]

El fenómeno corona ha sido estudiado, entre otros, por F. W. Peek, quien mediante observaciones empíricas desarrolló fórmulas para el estudio cuantitativo de éste en el caso de cilindros paralelos. La pérdida corona  $P_{\text{Peek}}$ , en kW/km/fase, queda expresada en la fórmula:

$$P_{\text{Peek}} = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{\text{DMG}}} \cdot \left( \frac{V}{\sqrt{3}} - \frac{V_c}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot n \cdot 10^{-5} \quad 3.18$$

Donde:

$\delta$ : densidad relativa del aire.

f: frecuencia del sistema, en Hz.

r: radio del subconductor, en cm.

DMG: distancia media geométrica entre fases, en cm.

V: voltaje efectivo fase fase, en kV.

$V_c$ : voltaje efectivo crítico disruptivo, en kV.

$$V_c = \sqrt{3} \cdot m_t \cdot m_c \cdot E_p \cdot \delta \cdot \frac{r}{\beta} \cdot \ln \left( \frac{\text{DMG}}{r_{\text{eq}}} \right) \quad 3.19$$

Donde:

$m_c$ : factor superficial del conductor, expuesto en la tabla 2.1

$m_t$ : factor ambiental, expuesto en la tabla 2.1

$E_p$ : es el campo superficial en condiciones normales,  $E_p = 21.21$  kVrms/cm,

$r_{\text{eq}}$ : es el radio equivalente del haz, en cm, expuesto en la ecuación 3.9

$\beta$ : factor de disposición de haces

$$\beta = \frac{1 + (n-1) \cdot \frac{r}{R}}{n} \quad 3.20$$

R = radio del círculo de los subconductores en cm, expuesto en la ecuación 3.8

n: número de subconductores por haz

### 3.4.2 MÉTODO DE PETERSON [14]

En este procedimiento se calcula primero la tensión característica de la línea por fase ( $e_d$ ), luego, se calcula la razón entre la tensión por fase de servicio y la tensión característica de la línea, con esta última se calcula un factor ( $\phi$ ) que se obtiene de las curvas mostradas en las figuras 3.5 y 3.6 y finalmente se aplica la ecuación de Peterson para pérdidas corona.

Para una mejor aplicación, se ha subdividido en las siguientes etapas:

#### *Primera etapa*

Para el cálculo de  $e_d$  existen tres casos importantes, dos de ellos para conductor en hebra:

1) Conductores redondos de superficie lisa y limpia:

$$e_d = 48.6 \cdot m \cdot \delta^{2/3} \cdot R \cdot \log_{10} \left( \frac{D}{R} \right) \quad 3.21$$

En que:

R: radio del conductor en cm.

D: distancia entre fases en cm.

$\delta$ : densidad relativa del aire.

$e_d$ : tensión característica de la línea por fase, en kV efectivos fase neutro.

2) Para cables de varios hilos, que tienen 12 o más hebras en la capa exterior:

$$e_d = 48.6 \cdot \delta^{2/3} \cdot m \cdot \frac{\left[ \log_{10} \left( \frac{D}{c \cdot R_h} \right) + (n_h - 1) \cdot \log_{10} \left( \frac{D}{R - c \cdot R_h} \right) \right]}{\frac{1}{c \cdot R_h} + \frac{n_h - 1}{2 \cdot (R - c \cdot R_h)}} \quad 3.22$$

Con:

$$c = 1 - \frac{\operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n_h}\right)}{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n_h}} \quad 3.23$$

$n_h$ : número de hebras de la capa exterior.

$R_h$ : radio hebra capa exterior en cm.

$R$ : radio medio del conductor en cm.

3) Para un cable que tiene 6 hebras en la capa exterior:

$$e_d = 35.47 \cdot \delta^{2/3} \cdot R \cdot m \cdot \left[ \log_{10}\left(\frac{D}{R}\right) + 0.0677 \right] \quad 3.24$$

<b>m</b>	<b>Condiciones</b>
0.87 - 0.90	Para condiciones comunes.
0.67 - 0.74	Para conductores no lavados.
0.912 - 0.93	Para conductores lavados con un disolvente de grasas.
0.885	Escobillados con una escobilla de alambre.
1	Pulido.
0.72 - 0.75	Conductores arrastrados y sucios con polvo.
0.945	Después de 5 meses expuestos a la acción atmosférica.
0.92	Sometido a la acción atmosférica, humedad baja de día.
0.78	Sometido a la acción atmosférica, humedad baja de noche.

Tabla 3.2. Valores propuestos de “m”

### Segunda etapa

Se calcula enseguida la razón  $V/e_d$  y se determina, a través del gráfico presentado en las figuras 3.5 y 3.6, el valor del factor  $\varphi$ .

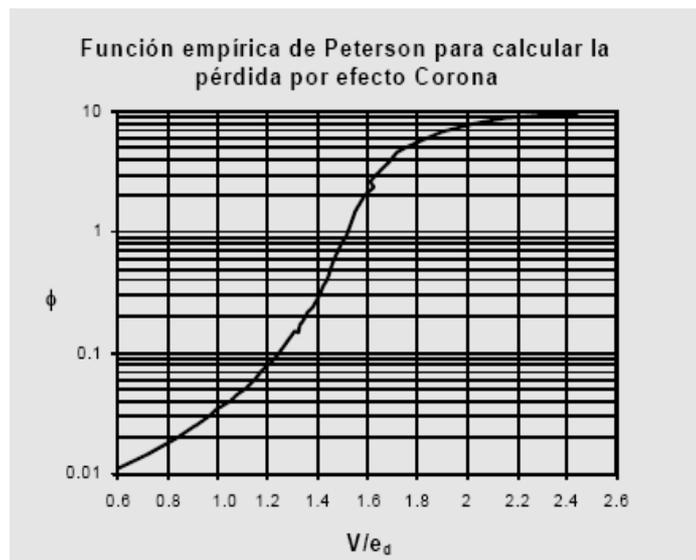


Figura 3.5. Función de Peterson para cálculo de pérdidas por efecto corona con razón  $V/e_d$  entre 0.6 y 2.4.

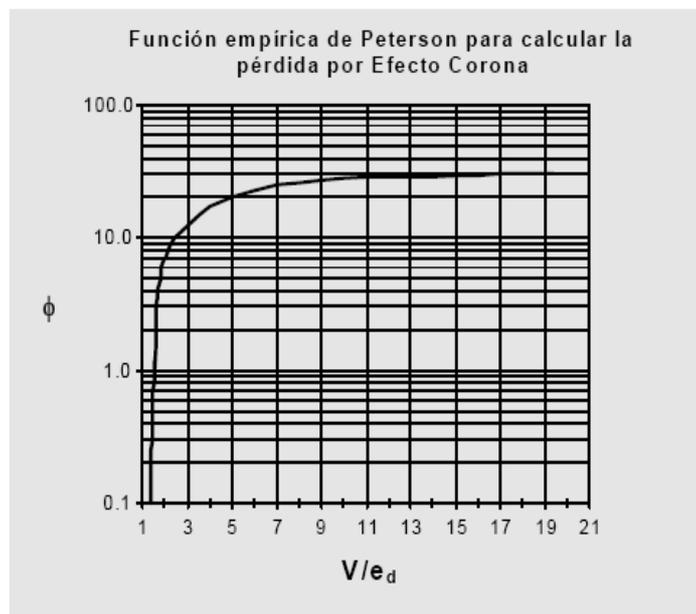


Figura 3.6. Función de Peterson para cálculo de pérdidas por efecto corona con razón  $V/e_d$  entre 1 y 19.

$V/e_d$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5
$\phi$	0.011	0.014	0.018	0.025	0.036	0.053	0.085	0.150	0.950

Tabla 3.3. Valor de  $\phi$ 

Esta fórmula es para buen tiempo, en otras condiciones, es necesario hacer intervenir los efectos correspondientes.

Las pérdidas por efecto corona se pueden mantener en valores tolerables manteniendo la tensión a la que ocurre el fenómeno, más alta que la tensión entre fase y tierra en un 20 a 40%, para lo cual, es necesario que el diámetro del conductor sea grande o, en caso contrario, formando cada fase por medio de más de un conductor.

### *Tercera etapa*

Determinado  $\phi$ , se calcula las pérdidas por efecto corona para buen tiempo por la siguiente relación:

$$P_{\text{Peterson}} = \frac{20.95 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot V^2}{\left( \log_{10} \left( \frac{D}{R} \right) \right)^2} \cdot \phi \quad 3.25$$

$P_{\text{Peterson}}$ : Potencia de pérdidas por corona, en kW / km / fase.

f: frecuencia del sistema, en Hz.

V: tensión de servicio en kV efectivos fase neutro.

El método de Peterson es aplicable sólo al caso de un conductor por fase y entrega mejores aproximaciones en el caso de conductores “gruesos” (más de 1 pulgada de diámetro).

### 3.4.3 MÉTODO DE ELECTRICITÉ DE FRANCE (EDF) [15]

Los investigadores C. Gary y M. Moreau desarrollaron dos métodos para el cálculo de pérdidas por corona para conductores con haz. Uno de estos métodos es aplicable a condiciones climáticas de buen tiempo y el otro para mal tiempo.

#### 3.4.3.1 Método para buen tiempo

Para un conductor fasciculado de  $n$  subconductores por fase se da la siguiente relación empírica para  $P_{EDF}$ : potencia de pérdidas por corona, kW / km / fase:

$$P_{EDF} = P_0 \cdot r_0^{1.8} \cdot (n + 6)^2 \cdot \frac{f}{50} \quad 3.26$$

Donde:

$f$ : frecuencia de la tensión en Hz.

$r_0$ : radio del subconductor en cm.

$n$ : número de subconductores.

$P_0$ : es un factor de pérdida de potencia que se obtiene de la figura 3.7, considerando el gradiente relativo como razón entre el gradiente máximo del haz y el campo eléctrico crítico del subconductor,  $E_c$ .

$$E_c = E_p \cdot m \cdot \delta \cdot \left( 1 + \frac{0.308}{\sqrt{r \cdot \delta}} \right) \quad 3.27$$

$E_c$ : campo eléctrico crítico del subconductor, en kV efectivos.

$r$ : radio del subconductor, en cm.

$E_p$ ,  $m$ ,  $\delta$ : son los descritos en el método de Peek.

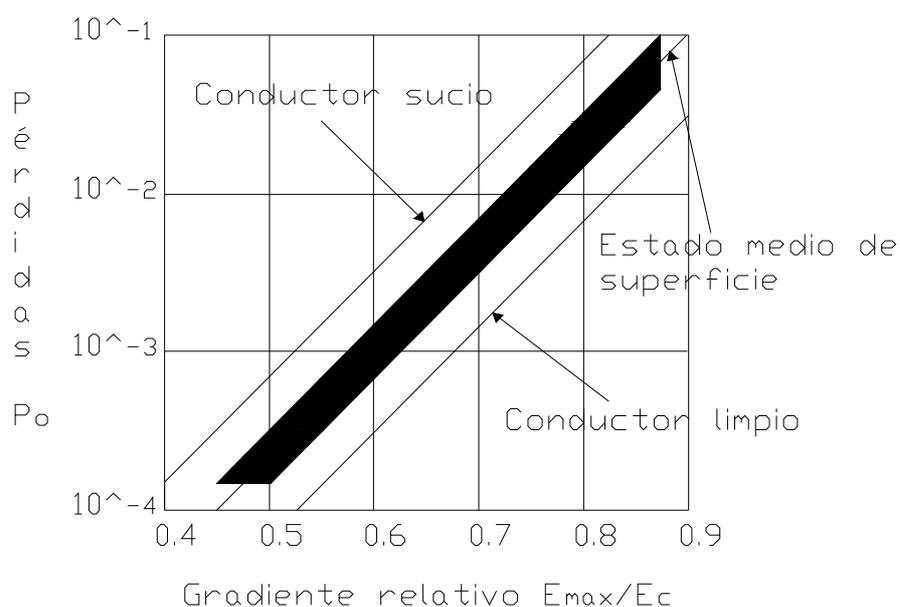


Figura 3.7. Pérdidas en conductores secos

### 3.4.3.2 Método para mal tiempo

Bajo condiciones del mal tiempo (lluvia o rocío) el fenómeno se agudiza, adquiriendo su máxima intensidad con tasas de lluvia de 1mm por hora o superior. En estas condiciones el campo eléctrico máximo supera al crítico.

Este método es un proceso analítico desarrollado rigurosamente y verificado experimentalmente con mediciones en líneas y en jaulas de prueba. Utilizadas configuraciones en haz de 1 a 8 subconductores, con diámetros entre 2.0 y 5.8 cm por conductor.

Las pérdidas por corona para mal tiempo queda determinada por:

$$P_{EDF} = k \cdot P_e \quad (\text{kW/km}) \quad 3.28$$

Donde:

k: factor que depende de las características geométricas de la línea y viene dado por la expresión.

$$k = \frac{f}{50} \cdot (n \cdot r \cdot \beta)^2 \cdot \frac{\log_{10}\left(\frac{R_o}{R_c}\right) \cdot \log_{10}\left(\frac{\rho}{R_c}\right)}{\log_{10}\left(\frac{R_o}{\rho}\right)} \quad 3.29$$

f: frecuencia del sistema, en Hz.

r: radio del subconductor, en cm.

$R_o$ : radio del conductor a potencial cero, de la línea coaxial equivalente, en cm.

$$R_o = R_c \cdot \text{antilog}\left(\frac{0.02412}{C_s \cdot 10^6}\right) \quad 3.30$$

$C_s$ : capacitancia de servicio

$R_c$ : radio equivalente del conductor múltiple, en cm

$\rho$ : radio medio de emigración de la carga espacial, en cm.

$$\rho = 25 \cdot \sqrt{n \cdot r} \quad 3.31$$

$$\beta = 1 + \frac{0.308}{\sqrt{r}} \quad 3.32$$

Donde:

$P_e$ : pérdida específica corona en kW / km / fase, que depende del campo eléctrico relativo E y del estado de superficie de los conductores "m", se obtiene de las figuras 3.8 y 3.9 o de las tablas 3.4 y 3.5, considerando el gradiente relativo como la razón entre el gradiente promedio y el campo eléctrico de Peek  $E/E_c$ ; E gradiente superficial medio de los conductores, en el caso de conductores múltiples del conductor ficticio de radio  $R_c$ , en kV/cm;  $E_c$  gradiente

crítico del conductor determinado con la fórmula de Peek corregida para considerar el efecto de variación de densidad del aire.

El factor “m”, para un mismo valor de intensidad de lluvia puede variar entre 20 y 30 %, dependiendo del grado de envejecimiento del conductor. Esta variación puede traducirse perfectamente en una variación de hasta 100 % en las pérdidas específica  $P_e$ , con bajas intensidades de lluvia y bajo campo eléctrico.

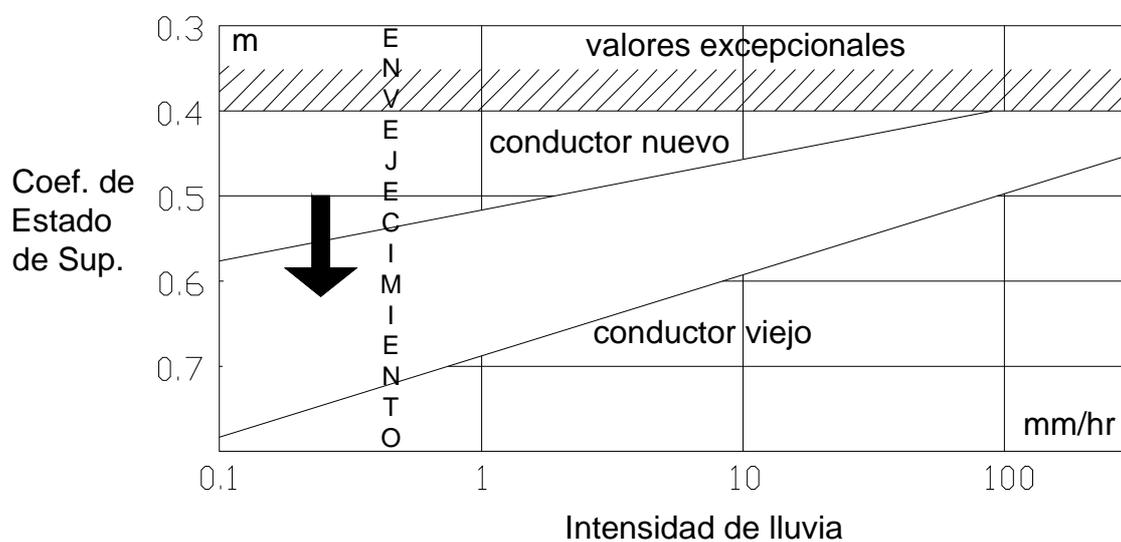


Figura 3.8. Determinación del factor “m”

Intensidad de la lluvia	0.1	1.0	10	100	mm/h
Peores valores observados	0.40	..	..	0.40	
Conductores nuevos	0.58	0.54	0.46	0.40	
Conductores envejecidos	0.76	0.67	0.58	0.49	

Tabla 3.4. Determinación del factor “m”

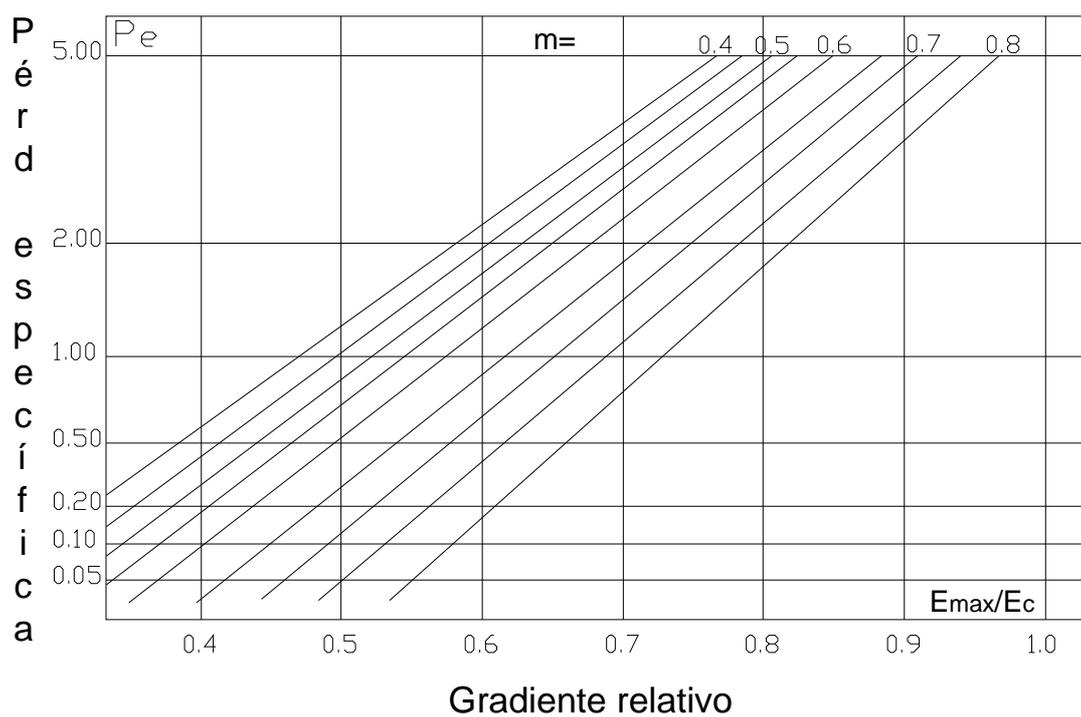


Figura 3.9. Pérdidas específicas por corona em kW / km / fase

Factor m	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Gradiente relativo						
0.4	0.6	0.3	0.1			
0.6	2.2	1.7	1.2	0.7	0.18	
0.8	6.0	4.9	4.0	3	1.8	0.5

Tabla 3.5. Pérdidas específicas por corona em kW / km / fase

## **CAPÍTULO 4**

### **CONFIGURACIONES DE CONDUCTORES PARA 500 kV**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En la construcción de líneas aéreas de transmisión de energía eléctrica, se utilizan conductores metálicos desnudos, que se obtienen mediante cableado de hilos metálicos (alambres) alrededor de un hilo central.

Los metales utilizados en la construcción de líneas aéreas deben poseer tres características principales:

- 1) Presentar baja resistencia eléctrica, y en consecuencia bajas pérdidas Joule.
- 2) Presentar elevada resistencia mecánica, para ofrecer una elevada resistencia a los esfuerzos permanentes o accidentales.
- 3) Costo limitado.

Los metales que satisfacen estas condiciones son relativamente escasos, como son: cobre, aluminio, aleación de aluminio, combinación de metales (aluminio acero).

Pese a la menor resistencia eléctrica y superiores aptitudes mecánicas el cobre ha dejado de ser utilizado en la construcción de líneas aéreas, esto es especialmente notado en alta y muy alta tensión.

El aluminio es el material que se ha impuesto como conductor de líneas aéreas por las diversas ventajas que presenta, además ayudado por un precio sensiblemente menor. Los conductores en base a aluminio utilizados en la construcción de líneas aéreas se presentan en las siguientes formas:

Cables homogéneos de aluminio puro (AAC)

Cables homogéneos de aleación de aluminio (AAAC) (ACAR)

Cables mixtos aluminio acero (ACSR)

Cables mixtos aleación de aluminio acero (AACSR)

Los principios básicos del uso de este tipo de material son:

- 1) Se utilizan siempre en forma de hilos cableados, debido a que poseen mejor resistencia a las vibraciones que los conductores de un único alambre.
- 2) La dureza superficial es sensiblemente menor que para los de cobre, se los debe manipular con cuidado, además los hilos que componen el conductor deben ser de 2 mm de diámetro o más, para que especialmente en las operaciones de tendido no se arriesguen daños graves.
- 3) Expuestos a la intemperie se recubren rápidamente de una capa protectora de óxido insoluble que protege al conductor contra la acción de los agentes exteriores.
- 4) Ciertos suelos naturales atacan al aluminio en distintas formas, por lo que no es aconsejable utilizarlo para la puesta a tierra de las torres, al menos cuando se ignoran las reacciones que el suelo puede producir.
- 5) El aire marino tiene una acción de ataque muy lenta sobre el aluminio, de todos modos numerosas líneas construidas en la vecindad del mar han demostrado óptimo comportamiento, en estos casos se deben extremar las precauciones en lo que respecta al acierto en la elección de la aleación y su buen estado superficial, en general, el ataque será más lento cuanto menos defectos superficiales haya.
- 6) La temperatura de fusión del aluminio es 660 °C (mientras el cobre funde a 1083 °C) por lo tanto los conductores de aluminio son mas sensibles a los arcos eléctricos.

## 4.2 CONDUCTORES ACAR vs ACSR

La razón de la elección es variable con los parámetros de la línea, en particular la tensión, la energía a transportar, etc. debiendo tenerse presente que de la correcta elección depende el costo incremental de la energía que la línea transmite.

Como el conductor por sus características eléctricas y mecánicas, influye en el diseño de las torres, y su ubicación en el terreno, puede deducirse que existe una familia de conductores que satisfacen técnicamente la relación existente entre torre y conductor, pero solo uno es el más apto para satisfacer las obras de ingeniería.

Los conductores de aleación de aluminio, o de aluminio acero, con características mecánicas elevadas, permiten cuando las trazas son rectilíneas hacer trabajar a los conductores con los máximos esfuerzos que le son permitidos. Esto da como resultados grandes vanos, con el consiguiente ahorro de torres, aisladores, morsetería y fundaciones.

A su vez los conductores de aleación de aluminio presentan algunas ventajas respecto de los de aluminio acero, a saber:

- Mayor dureza superficial, lo que explica la mas baja probabilidad de daños superficiales durante las operaciones de tendido, particularidad muy apreciada en las líneas de muy alta tensión, ya que como consecuencia se tendrán menos perdidas corona, y menor perturbación radioeléctrica.
- Menor peso, para flecha y vanos iguales da como consecuencia a igual altura de torres menor peso en las torres terminales y angulares, por la menor sollicitación mecánica, esto influye en la economía especialmente cuando la traza es quebrada. Para el caso de trazas rectilíneas, a igualdad

de tensión mecánica de tendido, se tiene menor flecha para igual vano, y en consecuencia menor altura de las torres de suspensión.

- Mayor capacidad de corriente, puede transmitir mayor potencia teniendo el mismo peso que otros conductores.

Una desventaja que debe señalarse para la aleación de aluminio es que por ser sus características mecánicas consecuencia de tratamientos térmicos, el cable es sensible a las altas temperaturas (no debe superarse el límite de 120 °C) por lo que debe prestarse especial atención al verificar la sección para las sobrecorrientes y tener particularmente en cuenta la influencia del cortocircuito.

Es por eso, que los conductores con aleación de aluminio (ACAR) son los más utilizados hoy en día en reemplazo de los conductores con aleación de acero (ACSR).

### **4.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE HACES DE CONDUCTORES**

#### **4.3.1 INDUCTANCIA [20]**

*Inductancia en una fase con haz de conductores*

Se considera un haz simétrico con  $n$  subconductores arreglados en un círculo de radio  $R$ . El ángulo entre dos subconductores es  $2\pi/n$ . El arreglo es mostrado en la figura 4.1. Considerando el subconductor 1, la distancia  $S_{12}$ ,  $S_{13}, \dots, S_{1n}$  fácilmente se puede observar que:

$$\begin{aligned}
 S_{12} &= 2 \cdot R \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{n}\right) \\
 S_{13} &= 2 \cdot R \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{n}\right) \\
 &\cdot \\
 &\cdot \\
 S_{1n} &= 2 \cdot R \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{(n-1)\pi}{n}\right)
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

La corriente en cada uno de los subconductores es  $(I/n)$  para la fase A y  $(-I/n)$  para la fase B.

El voltaje por unidad de longitud del subconductor 1 es:

$$V_1 = j \cdot \omega \cdot L_1 \cdot I_1 \tag{4.2}$$

$$L_1 = (2 \cdot 10^{-7}) \cdot \ln\left(\frac{D}{r_1}\right) \quad \frac{\text{Henrios}}{\text{metro}} \tag{4.3}$$

$$V_1 = j \cdot \omega \cdot (2 \cdot 10^{-7}) \cdot \left[ I_1 \cdot \ln\left(\frac{D}{r_1}\right) \right] \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 = j \cdot \omega \cdot (2 \cdot 10^{-7}) \left\{ \frac{I}{n} \cdot \left[ \ln\left(\frac{1}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{1}{S_{12}}\right) + \ln\left(\frac{1}{S_{13}}\right) + \dots + \ln\left(\frac{1}{S_{1n}}\right) \right] - \right. \\
 \left. \frac{I}{n} \cdot \left[ \ln\left(\frac{1}{D_{1(n+1)}}\right) + \ln\left(\frac{1}{D_{1(n+2)}}\right) + \dots + \ln\left(\frac{1}{D_{1(2n)}}\right) \right] \right\}
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

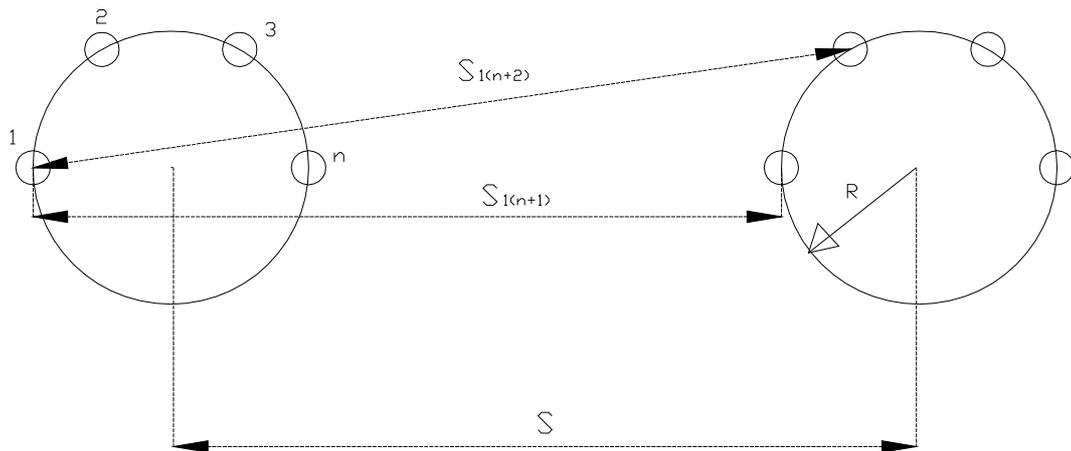


Figura 4.1. Una fase simétrica, circuito con haz de conductores

Como resultado:

$$V_1 = j \cdot \omega \cdot (2 \cdot 10^{-7}) \cdot \frac{I}{n} \cdot \ln \left[ \frac{S_{1(n+1)} \cdot S_{1(n+2)} \cdot \dots \cdot S_{1(2n)}}{r_o \cdot S_{12} \cdot S_{13} \cdot \dots \cdot S_{1n}} \right] \quad 4.6$$

Por identidad trigonométrica:

$$\left( 2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{\pi}{n} \right) \right) \cdot \left( 2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{2\pi}{n} \right) \right) \cdot \left( 2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{3\pi}{n} \right) \right) \cdot \dots \cdot \left( 2 \cdot \operatorname{sen} \left( \frac{(n-1)\pi}{n} \right) \right) = n \quad 4.7$$

Se tiene que:

$$S_{12} \cdot S_{13} \cdot \dots \cdot S_{1n} = n \cdot R^{n-1} \quad 4.8$$

De aquí se define la distancia media geométrica (GMD) como:

$$\text{GMD} = \left[ (S_{1(n+1)}) \cdot (S_{1(n+2)}) \cdot \dots \cdot (S_{1(2n)}) \right]^{\frac{1}{n}} \quad 4.9$$

Por lo tanto reemplazando en el voltaje, se obtiene:

$$V_1 = j \cdot w \cdot (2 \cdot 10^{-7}) \cdot \frac{I}{n} \cdot \ln \left[ \frac{\text{GMD}^n}{n \cdot r_o \cdot R^{n-1}} \right] \quad 4.10$$

Con lo cual se reduce a:

$$V_1 = j \cdot w \cdot (2 \cdot 10^{-7}) \cdot I \cdot \ln \left[ \frac{\text{GMD}}{(n \cdot r_o \cdot R^{n-1})^{\frac{1}{n}}} \right] \quad 4.11$$

Como resultado se obtiene:

$$L = (2 \cdot 10^{-7}) \cdot \ln \left[ \frac{\text{GMD}}{(n \cdot r_o \cdot R^{n-1})^{\frac{1}{n}}} \right] \quad \frac{\text{Henrios}}{\text{metro}} \quad 4.12$$

$$\text{GMR} = (n \cdot r_o \cdot R^{n-1})^{\frac{1}{n}} \quad 4.13$$

Reemplazando:

$$L = (2 \cdot 10^{-7}) \cdot \ln \left[ \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} \right] \quad \frac{\text{Henrios}}{\text{metro}} \quad 4.14$$

### *Inductancia en un sistema trifásico con haces*

Se considera un circuito, sistema trifásico con una configuración de haces como la mostrada en la figura 4.2. Se asume igual corriente de distribución en los subconductores de fase

En este caso la distancia media geométrica está dada por:

$$\text{GMD} = (D_{AB} \cdot D_{BC} \cdot D_{CA})^{\frac{1}{3}} \quad 4.15$$

Donde  $D_{AB}$ ,  $D_{BC}$  y  $D_{CA}$  son las distancias entre los centros de las fases.

El radio medio geométrico se lo obtiene:

$$\text{GMR} = \left( n \cdot r_o \cdot R^{n-1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad 4.16$$

La reactancia inductiva por milla por fase  $X_L$  en el caso de un sistema trifásico y haces de conductores se lo obtiene usando:

$$X_L = X_a + X_d \quad 4.17$$

La frecuencia de operación es de 60 Hz

$$X_a = 0.2794 \cdot \log\left(\frac{1}{\text{GMR}}\right) \quad 4.18$$

$$X_d = 0.2794 \cdot \log(\text{GMD}) \quad 4.19$$

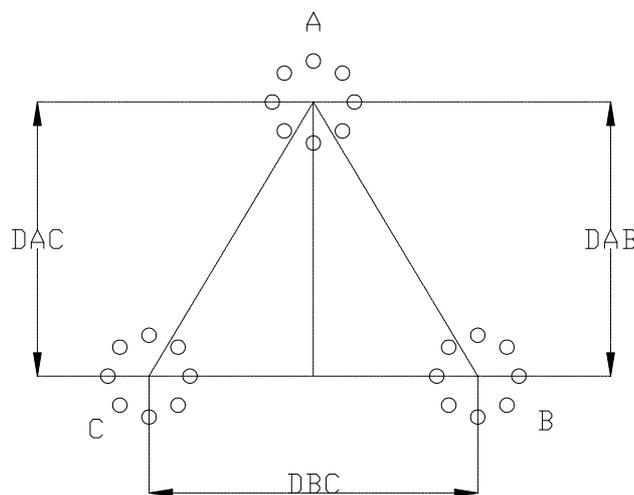


Figura 4.2. Sistema trifásico con haz de conductores

### 4.3.2 CAPACITANCIA [8]

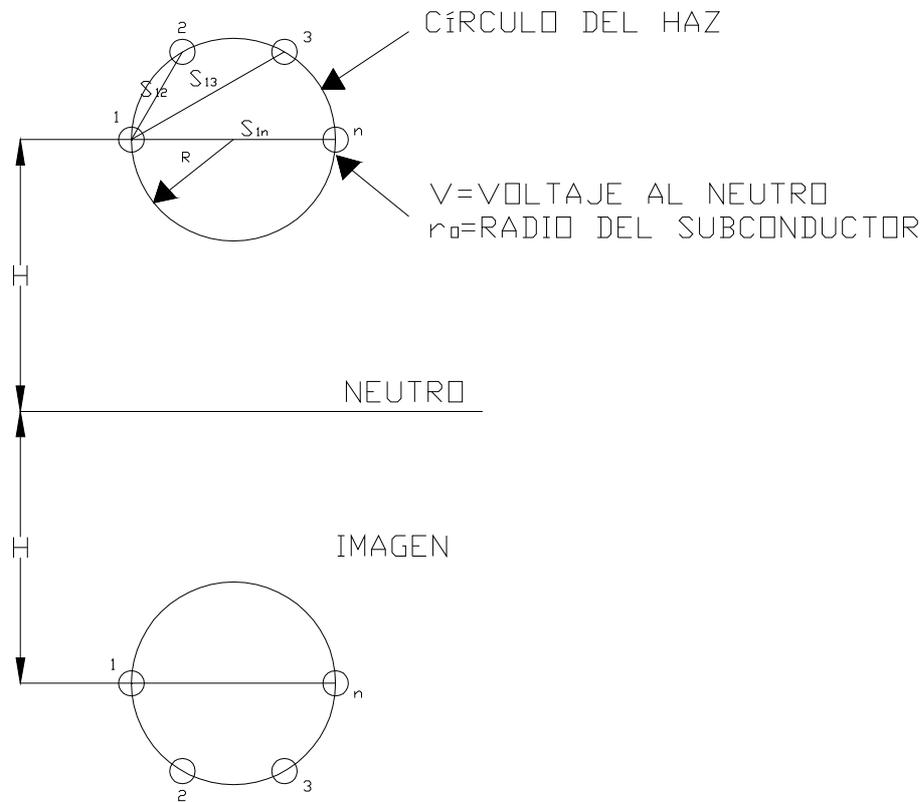


Figura 4.3. Fase con haz de conductores e imagen

Donde:

$n$  = número de subconductores

$V_n$  = voltaje del subconductor  $n$  a tierra

$P$  = coeficiente de potencial

$Q_n$  = carga en el conductor  $n$

$$\begin{aligned} V_1 &= P_{11} \cdot Q_1 + P_{12} \cdot Q_2 + P_{13} \cdot Q_3 + \dots P_{1n} \cdot Q_n \\ V_2 &= P_{21} \cdot Q_1 + P_{22} \cdot Q_2 + P_{23} \cdot Q_3 + \dots P_{2n} \cdot Q_n \\ V_3 &= P_{31} \cdot Q_1 + P_{32} \cdot Q_2 + P_{33} \cdot Q_3 + \dots P_{3n} \cdot Q_n \end{aligned} \quad 4.20$$

$$P_{jj} = 18 \cdot 10^9 \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot H}{r_0} \right) \frac{\text{Farad}}{\text{m}} ; \text{Para } j=1 \text{ a } n \quad 4.21$$

$$P_{jk} = 18 \cdot 10^9 \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot H}{S_{jk}}\right) \frac{\text{Farad}}{\text{m}} ; \text{Para } j, k = 1 \text{ a } n ; j \neq k ; S_{jk} \ll 2 \cdot H \quad 4.22$$

$S_{jk}$  = distancia directa entre el subconductor j y k

$r_o$  = radio del subconductor

$$\begin{aligned} V_1 = V_2 = V_3 = V_n = V \\ Q_1 \cong Q_2 \cong Q_3 \cong Q_n \end{aligned} \quad 4.23$$

Reemplazando 4.23 en 4.20

$$V = Q_1 \cdot [P_{11} + P_{12} + P_{13} + \dots P_{1n}] \quad 4.24$$

$$Q_1 = \frac{V}{[P_{11} + P_{12} + P_{13} + \dots P_{1n}]} \quad 4.25$$

$$Q_n = \frac{n \cdot V}{[P_{11} + P_{12} + P_{13} + \dots P_{1n}]} \quad 4.26$$

$$Q = C \cdot V \quad 4.27$$

$$C = \frac{n}{[P_{11} + P_{12} + P_{13} + \dots P_{1n}]} \quad 4.28$$

Reemplazando 4.21 y 4.22 en 4.28

$$C = \frac{n}{18 \cdot 10^9 \cdot \left[ \ln\left(\frac{2 \cdot H}{r_o}\right) + \ln\left(\frac{2 \cdot H}{S_{12}}\right) + \ln\left(\frac{2 \cdot H}{S_{13}}\right) + \dots \ln\left(\frac{2 \cdot H}{S_{1n}}\right) \right]} \quad 4.29$$

Combinando y cambiando 4.29

$$C = \frac{1}{18 \cdot 10^9 \cdot \ln \left[ \left( \frac{2 \cdot H}{r_o} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot H}{S_{12}} \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot H}{S_{13}} \right) \cdot \dots \cdot \left( \frac{2 \cdot H}{S_{1n}} \right) \right]^{\frac{1}{n}}} \quad 4.30$$

$$S_{12} = 2 \cdot R \cdot \text{sen} \left( \frac{\pi}{n} \right)$$

$$S_{13} = 2 \cdot R \cdot \text{sen} \left( \frac{2\pi}{n} \right)$$

·  
·

$$S_{1n} = 2 \cdot R \cdot \text{sen} \left( \frac{(n-1)\pi}{n} \right)$$

4.31

$$C = \frac{1}{18 \cdot 10^9 \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot H}{\left\{ r_o \cdot R^{n-1} \cdot \left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{\pi}{n} \right) \right) \cdot \left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{2\pi}{n} \right) \right) \cdot \dots \cdot \left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{(n-1)\pi}{n} \right) \right) \right]^{\frac{1}{n}}} \right]} \quad 4.32$$

$$\left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{\pi}{n} \right) \right) \cdot \left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{2\pi}{n} \right) \right) \cdot \left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{3\pi}{n} \right) \right) \cdot \dots \cdot \left( 2 \cdot \text{sen} \left( \frac{(n-1)\pi}{n} \right) \right) = n \quad 4.33$$

$$C = \frac{1}{18 \cdot 10^9 \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot H}{\left( r_o \cdot R^{n-1} \cdot n \right)^{\frac{1}{n}}} \right]} \quad 4.34$$

$$2 \cdot H = \text{GMD}$$

$$\left( r_o \cdot R^{n-1} \cdot n \right)^{\frac{1}{n}} = r_{\text{eq}} = \text{GMR}$$

$$C = \frac{1}{18 \cdot 10^9 \cdot \ln \left[ \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} \right]} \frac{\text{Farad}}{\text{m}} \quad 4.35$$

Las ecuaciones 4.14, 4.17 y 4.35 se utilizan para cálculos de los respectivos parámetros de las líneas de transmisión que tienen más de un conductor por fase (haz de conductores).

#### 4.4 HACES DE CONDUCTORES

En el congreso del Cigrè de 1935, Markt y Menguele propusieron la utilización de varios cables en haz por fase. Esta configuración, desde el punto de vista de la distribución del campo eléctrico, es equivalente a la utilización de un conductor hueco de gran diámetro, que es prácticamente irrealizable; por lo que el propósito es bajar la fuerza del campo eléctrico en las superficies del conductor, de tal modo controlar la corona, tal como se indica en la figura 4.4.

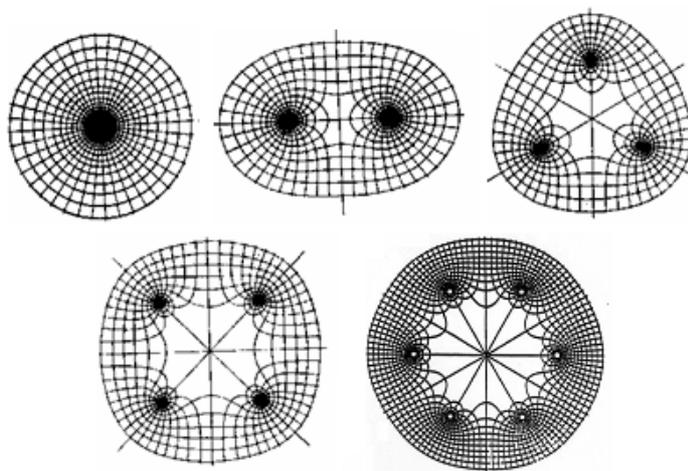


Figura 4.4. Superficies equipotenciales y líneas de campo en haces de conductores

Se debe orientar a la reducción del campo eléctrico en la superficie del conductor, y es así que los haces de conductores pueden extenderse a partir de 2 subconductores hasta 16 para las líneas de EHV. Sin embargo, todos los haces

de conductores abarcan un número equidistante de subconductores cilíndricos alrededor de un perímetro de círculo. Un haz es descrito normalmente por el número y diámetro del subconductor, diámetro entero del haz y espaciamento entre los subconductores

## **4.5 ESPACIADORES DE HACES DE CONDUCTORES [12]**

### **4.5.1 CARACTERÍSTICAS**

- Los espaciadores amortiguadores son diseñados y fabricados en cumplimiento de la norma internacional IEC 61854.
- El espaciador amortiguador es de concepción tecnológica simple y consiste de un cuerpo central y brazos articulados que se fijan al conductor mediante distintos sistemas de sujeción disponibles.
- Mantiene el espaciamento de diseño entre los subconductores bajo condiciones normales del servicio.
- Soporta las fuerzas y movimientos causados por condiciones transitorias tales como cortocircuito, diferencia de la formación de hielo y carga del viento, sin causar daño a los subconductores o sostener el daño ellos mismos.
- Controla los niveles de vibración eólica y oscilación del subconductor adyacente.
- Preserva las características mecánicas elásticas y amortiguamiento sobre una gama de temperaturas de servicio para la vida prevista de la línea.
- No necesita mantenimiento en toda la vida útil de los amortiguadores.
- Permite el movimiento de los subconductores en cualquier dirección sin daños de los componentes del espaciador y filamentos de los subconductores.
- Mantiene apretado convenientemente la abrazadera y previene que la abrazadera se afloje por medio de un dispositivo de fijación.
- Está libre de corona en voltajes superiores al 20% del voltaje de operación.
- Resiste una corriente mínima de corto circuito de 50 kA en 1 segundo.

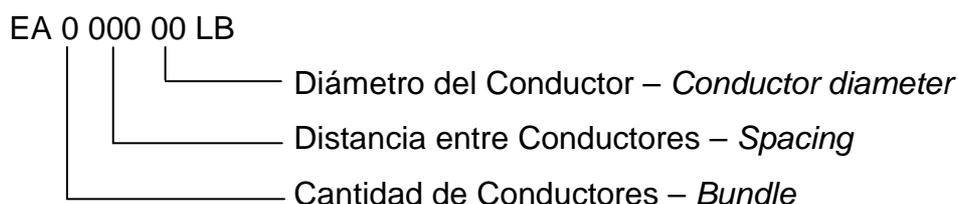
Las vibraciones mecánicas se pueden dividir en tres tipos principales; vibración eólica, oscilación por distancia entre conductores (subspan) y el estiramiento (galloping). La vibración eólica es la oscilación resonante causada por la emisión de corrientes desde el lado opuesto del conductor en un viento constante (para un haz de conductor con espaciadores, la vibración eólica se puede reducir hasta un factor de 10).

El fenómeno más comúnmente encontrado puede causar aflojamiento en las abrazaderas, desgastar y debilitar a los conductores. La oscilación por distancia entre conductores es como el estiramiento, el movimiento estrecho entre los conductores espaciados tales como los haces de los conductores.

Esto puede reducir la vida útil de la línea por desgaste y debilitamiento del conductor, dañando los espaciadores y los soportes de las abrazaderas. El gran movimiento ganado por el estiramiento puede traer a los conductores de fase suficientemente cerca uno del otro y causar arcos e interrupciones de energía. Estas condiciones mecánicas se pueden limitar con el uso de amortiguadores (dampers) y limitar las tensiones del conductor.

La oscilación del subconductor, es causado por un conductor que no entrega toda su capacidad como consecuencia de un conductor aguas arriba y de tal modo excitado para vibrar en forma de una elipse casi horizontal. El daño ha consistido en el desgaste del conductor como la deterioración y la fractura del espaciador. Para reducir la oscilación del subconductor, la longitud o la distancia entre los espaciadores se debe mantener bajo los 76.20 m (250 pies). [16] [17]

A los espaciadores se los representa de la siguiente manera:



#### 4.5.2 MECANISMO DE ARTICULACIÓN [18]

Cada brazo está unido al cuerpo central por medio de una articulación que comprende cuatro pares de cilindros de elastómero que van ajustados dentro de la cavidad formada por el brazo y un pivote cruciforme unido al cuerpo.

Este mecanismo original permite desplazamientos angulares del brazo que someten a los cilindros a sollicitaciones esencialmente de compresión por cuya razón confiere a la articulación sus extraordinarias propiedades elásticas y amortiguantes.

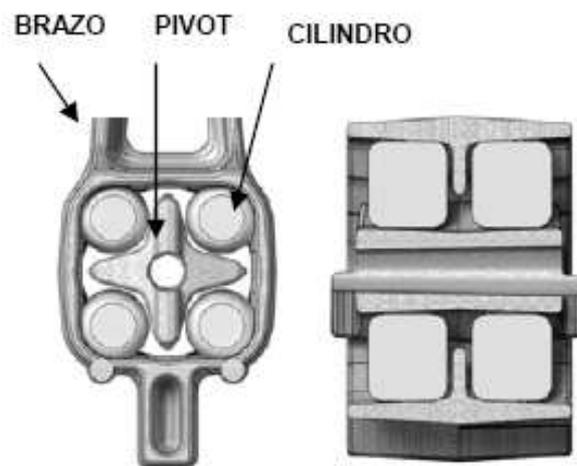


Figura 4.5. Mecanismo de articulación

#### 4.5.3 SISTEMAS DE SUJECIÓN AL CONDUCTOR [18]

##### 4.5.3.1 Sujeción Mediante Varillas Preformadas

La versión estándar del sistema de fijación del espaciador al conductor está concebida usando varillas preformadas helicoidales y asegura una máxima confiabilidad, fácil instalación, libre de errores del montador y libre de mantenimiento. La fijación se realiza mediante cuatro varillas preformadas de aluminio que se enrollan alrededor de la cuna del brazo.

Este sistema bien probado tiene las siguientes ventajas:

- Reducción de las sollicitaciones locales producidas por la presión de ajuste.
- Distribución de las deformaciones sobre el conductor en más de un metro de longitud en lugar de estar concentradas en una zona particular.
- Elasticidad de las varillas que permite compensar cualquier reducción del diámetro del conductor producida por el arrastre.
- Almohadilla de elastómero en la cuna del brazo sobre la que se apoya el conductor que elimina el contacto directo metal - metal y previene al conductor de cualquier daño provocado por eventuales movimientos relativos con la grapa.



Figura 4.6. Sujeción mediante varillas preformadas

#### 4.5.3.2 Sujeción Mediante Grapa Abulonada

Este modo de fijación ha sido concebido de manera de:

- Proveer un ajuste confiable de la grapa con un esfuerzo de apriete tal de no dañar al conductor.
- Prevenir toda posibilidad de aflojamiento y evitar todo movimiento relativo entre grapa y conductor.
- Facilitar la instalación, libre de errores de montaje.
- Evitar pérdidas de componentes del sistema de fijación.
- Controlar a simple vista desde el suelo.

La grapa abulonada es del tipo “extremo abierto” con una buena superficie de contacto, cuya longitud mínima de ajuste es de 76 mm. El mecanismo de apriete está concebido mediante un bulón de cabeza hexagonal con tuerca cabeza hexagonal, arandela elástica y arandela plana. El bulón dispone, además, de una cabeza fusible tipo “break away” de manera de controlar el ajuste. Todas las cabezas de los bulones están orientadas hacia el suelo de manera de facilitar el control desde el suelo por parte de la inspección.



Figura 4.7. Sujeción mediante grapa abulonada

#### 4.5.4 TIPOS DE ESPACIADOR AMORTIGUADOR [19]

##### *Espaciador Amortiguador Gemelo*

Rango del Diámetro del conductor	Dimensiones (L)	Peso
mm	mm	kg
18 – 40.4	400	2.6
18 – 40.4	457	2.7
18 – 40.4	500	2.8

Tabla 4.1. Espaciador amortiguador gemelo

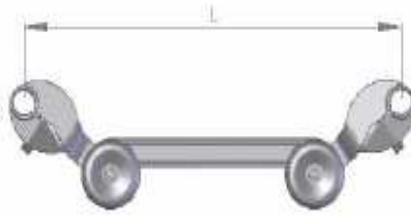


Figura 4.8. Espaciador amortiguador gemelo

*Espaciador Amortiguador Triple*

Rango del Diámetro del conductor mm	Dimensiones (L) mm	Peso kg
18 – 40.4	400	5.6
18 – 40.4	457	5.8
18 – 40.4	500	6

Tabla 4.2. Espaciador amortiguador triple

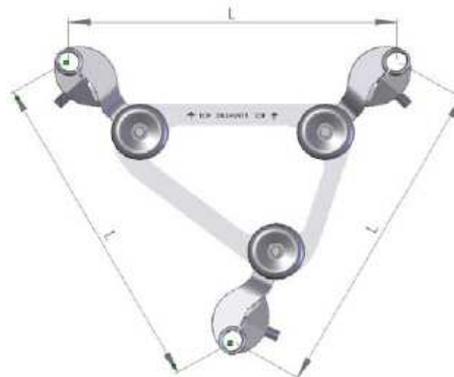


Figura 4.9. Espaciador amortiguador triple

*Espaciador Amortiguador Cuádruple*

<b>Rango del Diámetro del conductor</b>	<b>Dimensiones (L)</b>	<b>Peso</b>
<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>kg</b>
18 – 40.4	400	5.6
18 – 40.4	457	5.8
18 – 40.4	500	6

Tabla 4.3. Espaciador amortiguador cuádruple

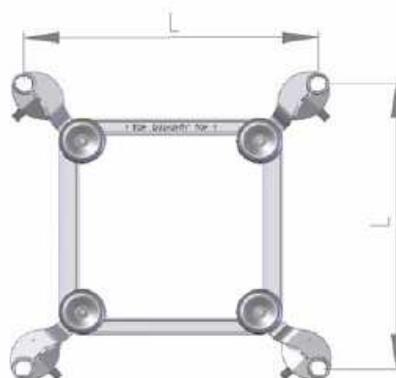


Figura 4.10. Espaciador amortiguador cuádruple

*Espaciador Amortiguador Séxtuple*

<b>Rango del Diámetro del conductor</b>	<b>Dimensiones (L)</b>	<b>Peso</b>
<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>kg</b>
18 – 40.4	300	10.8
18 – 40.4	381	11
18 – 40.4	457	11.2
18 – 40.4	600	12

Tabla 4.4. Espaciador amortiguador séxtuple

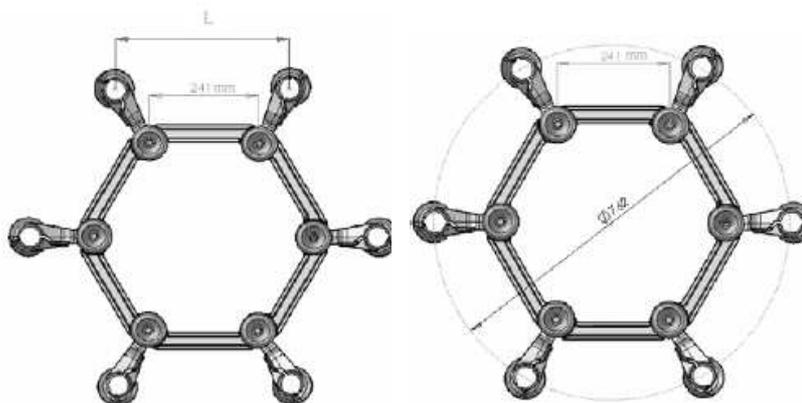


Figura 4.11. Espaciador amortiguador séxtuple

Todos los tipos de espaciador amortiguador se utilizan para controlar la vibración eólica y la oscilación del conductor. Mantiene el espaciamiento del conductor y restaura el espaciamiento del conductor después de que ocurra un cortocircuito. Los materiales que se utilizan en la elaboración de los espaciadores son:

- Estructura, brazos – Aleación de Aluminio.
- Tornillo y tuerca – Acero galvanizado.
- Elemento de amortiguamiento – caucho EPDM.
- Estas pruebas se pueden proveer de acuerdo a las normas ANSI, IEC y AS como requerimiento.

*Espaciador Amortiguador Con Grapa Preformada (Preformed Clamp Type Spacer Damper)*

*Doble – Twin*



Figura 4.12. Espaciador con grapa preformada doble

*Triple – Triple*



Figura 4.13. Espaciador con grapa preformada triple

*Cuádruple - Quad*



Figura 4.14. Espaciador con grapa preformada cuádruple

*Espaciador Amortiguador Con Grapa Abulonada (Bolted Clamp Type Spacer Damper)*

*Doble - Twin*



Figura 4.15. Espaciador con grapa abulonada doble

*Triple – Triple*

Figura 4.16. Espaciador con grapa abulonada triple

*Cuádruple – Quad*

Figura 4.17. Espaciador con grapa abulonada cuádruple

**4.5.5 AMORTIGUADOR STOCKBRIDGE (STOCKBRIDGE VIBRATION DAMPER) [18]**

Los amortiguadores de vibración eólica son diseñados y fabricados en cumplimiento de la norma internacional IEC 61897.

Los amortiguadores están constituidos por los siguientes materiales:

- Contrapesos: aleación de zinc que ofrece inercia adecuada y alta resistencia a la corrosión

- Morseto (cuerpo y apretador): aleación de aluminio de uso generalizado en la fabricación de morsetería
- Cable mensajero: elemento de alambres de acero trenzado de extra alta resistencia, zincado en caliente
- Bulonería: de acero resistente zincado en caliente, apto para cada aplicación.

El diseño de los amortiguadores es de tipo asimétrico, o sea con contrapesos distintos, lo que permite obtener cuatro frecuencias resonantes y modos de vibrar. Esto los hace más eficientes dando lugar a una capacidad amortiguante extendida sobre un mayor rango de frecuencias eólicas de las líneas.

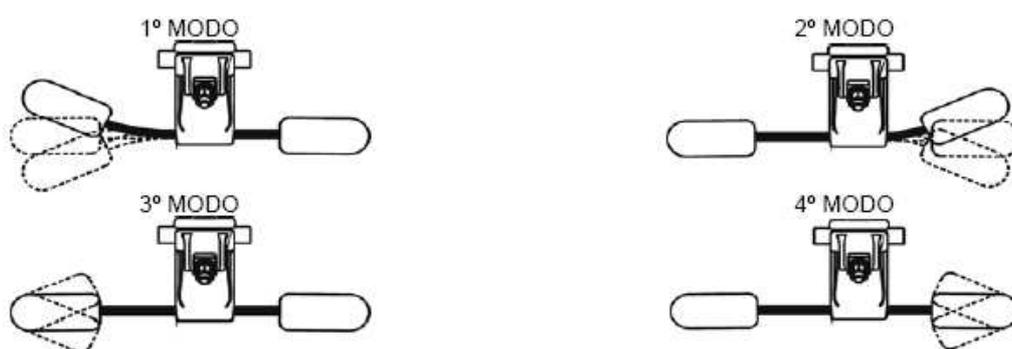


Figura 4.18. Amortiguador stockbridge

La selección del amortiguador para cada línea de transmisión no se realiza solamente en función del diámetro del conductor, sino en función de todos los datos necesarios de la línea, de manera de optimizar el sistema de amortiguamiento a suministrar desde el punto de vista técnico-económico.

Para ello se dispone de métodos analíticos de cálculo por medio de programas informáticos especializados en tecnología de amortiguamiento de líneas, que permite efectuar el estudio completo para cada línea y obtener el tipo de amortiguador más ajustado a las características de la línea, las cantidades y su correspondiente posicionamiento.

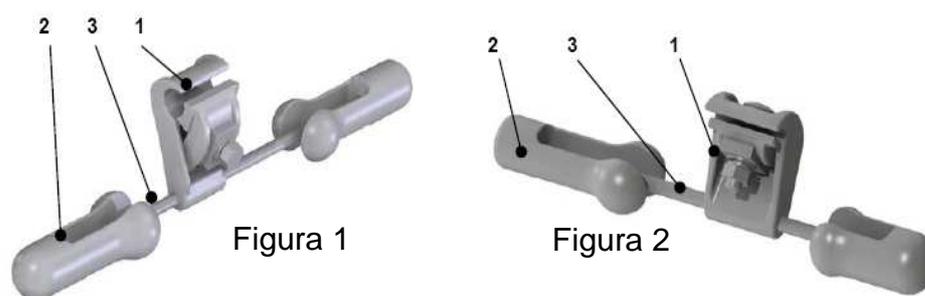


Figura 4.19. Amortiguador stockbridge

- Cuerpo y apretador en aleación de aluminio (body and keeper aluminium alloy)(1)  
 Contrapesos en aleación de zinc (counterweight zinc alloy) (2)  
 Cable de acero zincado en caliente (hot dip galvanizad steel rope) (3)

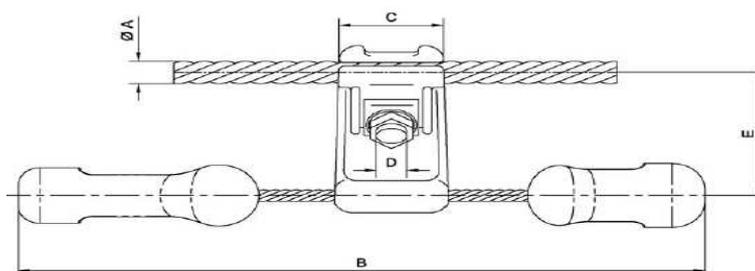


Figura 4.20. Esquema del amortiguador stockbridge

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>Torque (Nm)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Figura 4.16</b>
6 – 11	310	52	M10	60	30	1.15	2
11 – 16	427	54	M10	70	30	1.70	1
16 – 20	424	54	M10	70	30	1.90	1
20 – 26	410	64	M12	90	30	2.80	2
26 - 30	415	82	M12	90	40	3.50	2

Tabla 4.5. Amortiguador stockbridge

#### **4.5.6 SISTEMA DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES (SYSTEM OF MEASUREMENT OF VIBRATIONS) [18]**

Los conductores y cables de guardia de las líneas de transmisión están expuestos al viento, como muchas otras estructuras, pero sus características favorecen la ocurrencia de las vibraciones debido al mecanismo de desprendimiento de vértices, comúnmente conocido como vibraciones eólicas.

La importancia básica en vibraciones eólicas de conductores es la posible falla de los alambres del conductor en los alrededores de las grapas o, en general, en los puntos de conexión del conductor con otros componentes de la línea.

Aunque la falla de algunos alambres no afecta en forma inmediata el transporte de potencia de la línea, puede requerir reparaciones costosas e interrupciones del servicio. Sin embargo, la mayor importancia es la naturaleza de las fallas que bien podría ser el comienzo de una generalizada degradación de los conductores que constituyen el principal componente de las líneas.

El servicio de medición de vibraciones abarca:

- Sensores de vibraciones eólicas.
- Sensores de oscilaciones de subvano.
- Sensores de viento y temperatura.
- Dispositivos de anclaje de los registradores.
- Procesamiento de datos.
- Informe técnico por cada vano de ensayo.
- Asesoramiento y supervisión de montaje.

Los equipos pueden operar de forma continua por largos períodos de tiempo, ya sea en líneas energizadas o no.

Toman registros de forma digital de datos de amplitud, frecuencia, viento y temperatura que son almacenados en una memoria matricial. Cuentan con una

gran autonomía, pueden funcionar hasta dos años ininterrumpidos, dependiendo del tipo de programación y medición a realizar. Pueden realizar registros en líneas energizadas de hasta 500 kV.

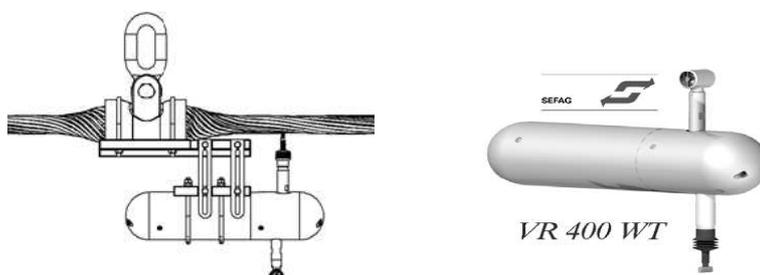


Figura 4.21. Sistema de medición de vibraciones

#### *Medición en Brazo del Espaciador – Amortiguador*

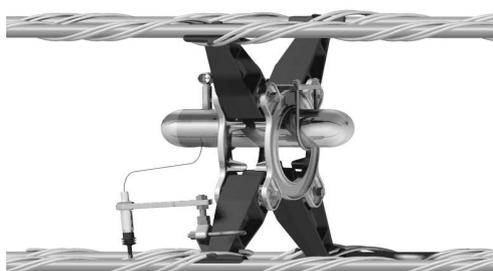


Figura 4.22. Sistema de medición de vibraciones en brazo del espaciador

#### *Medición de Oscilación de Subvano*

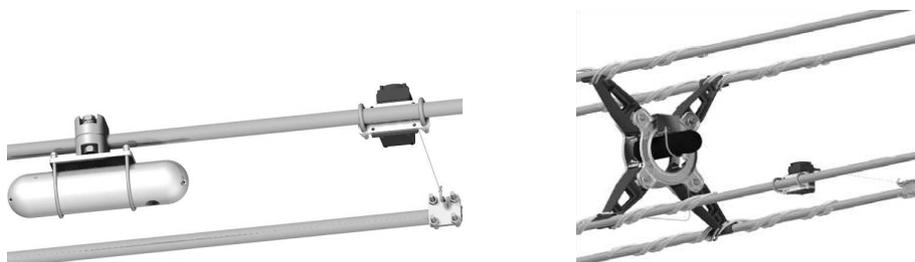


Figura 4.23. Sistema de medición de oscilación de subvano

#### 4.6 CONFIGURACIONES DE CONDUCTORES PARA 500 kV EN OTROS PAÍSES

Varios países alrededor del mundo tienen niveles de voltaje de EHV e inclusive de UHV, de tal manera que se puede obtener experiencias de estos países para el desarrollo de este tema de tesis. Así el nivel de voltaje a considerar es de 500 kV, por lo que se estudiarán varias configuraciones de conductores obtenidas de países como son: Canadá, Japón, Brasil y Colombia entre otros, que cuentan con este nivel de voltaje. Las configuraciones a analizarse en este estudio se presentan en la tabla 4.6., mencionando los datos indicados. [21] [22].

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)
3	954	ACSR	45.7
3	1113	ACSR	45.7
3	1113	ACSR	120
3	950	ACAR	45.7
3	1200	ACAR	45.7
4	750	ACAR	45.7
4	600	ACAR	45.7
4	800	ACAR	45.7
4	636	ACSR	45.7
4	954	ACSR	120
5	636	ACSR	45.7
5	636	ACSR	60
5	636	ACSR	80
6	477	ACSR	30
6	477	ACSR	45.7
6	477	ACSR	60

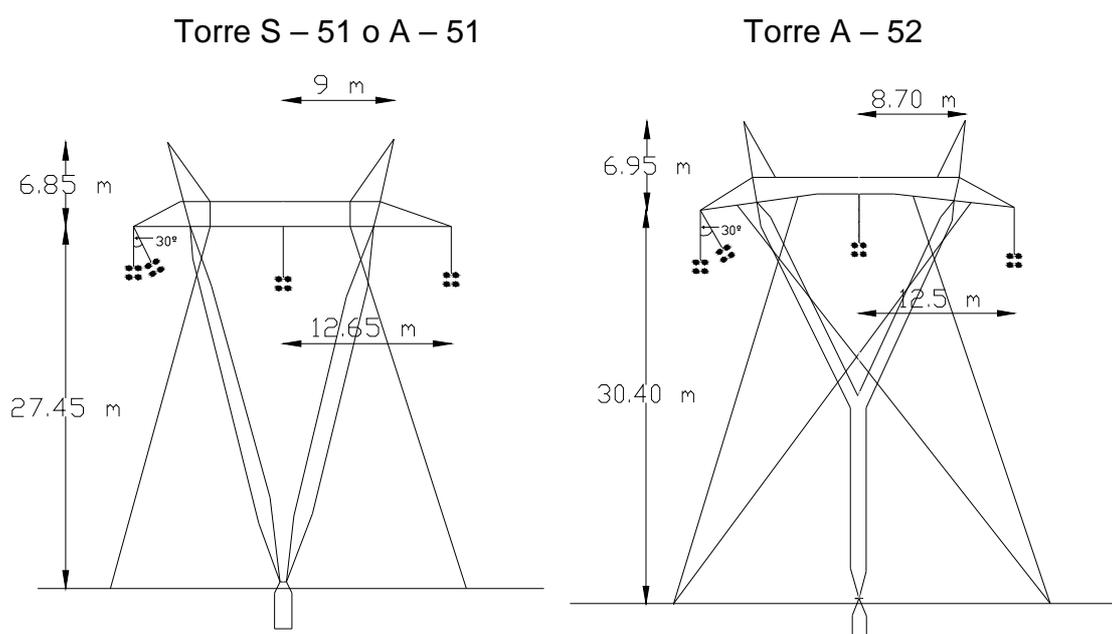
Tabla 4.6. Configuraciones de conductores para 500 kV

En las configuraciones expuestas se realiza un análisis técnico del efecto corona, de acuerdo a las características de los conductores y de las condiciones ambientales para establecer cual configuración sería la más adecuada para nuestro país. Además se analiza la configuración propuesta por Transelectric en el plan de expansión hasta el 2016 (4 x 750 ACAR).

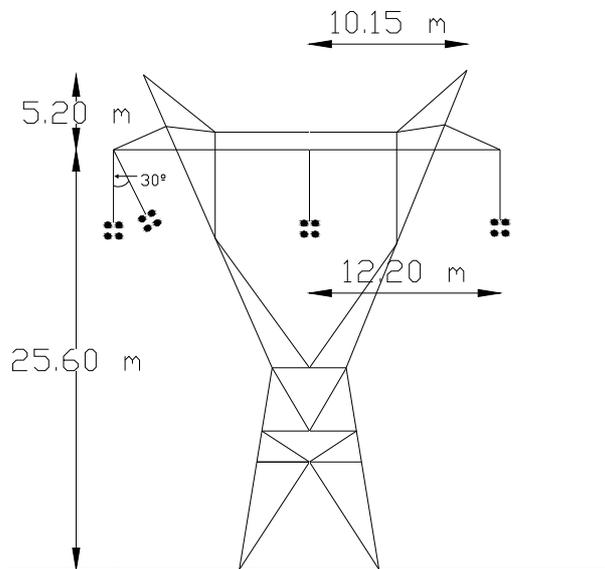
Los datos de los conductores se observan en el anexo 2, que especifica las características de los conductores, indicadas por los fabricantes.

#### 4.7 TORRES UTILIZADAS EN 500 kV [8]

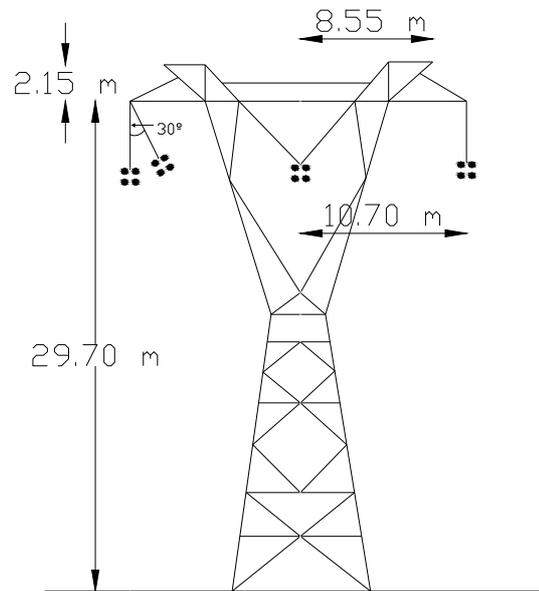
Las líneas de transmisión tienen una amplia variedad de conceptos en cuanto a EHV y a características de las torres. Una publicación realizada por Electrical World, registra dimensiones básicas para un muestreo grande de líneas de EHV que se han construido o se han planeado para la operación. Estos datos son muy útiles en las líneas debido a la información que se ha llegado a tener disponible con respecto a distancias de aislamiento, ángulo de apantallamiento, y otros parámetros que afectan el funcionamiento de la línea y por ende el costo de la misma. Las torres expuestas en esta publicación son:



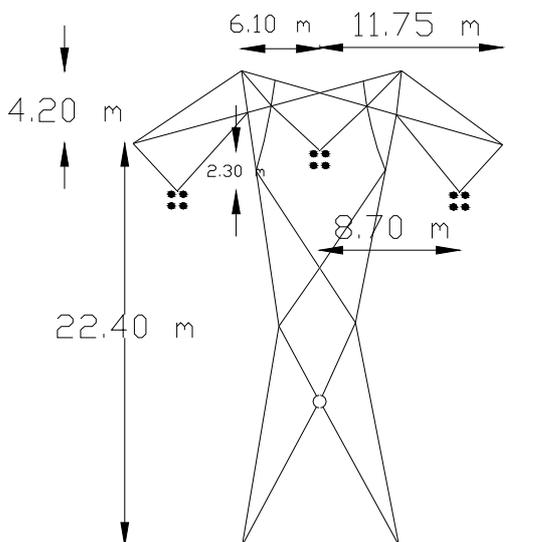
Torre S – 53



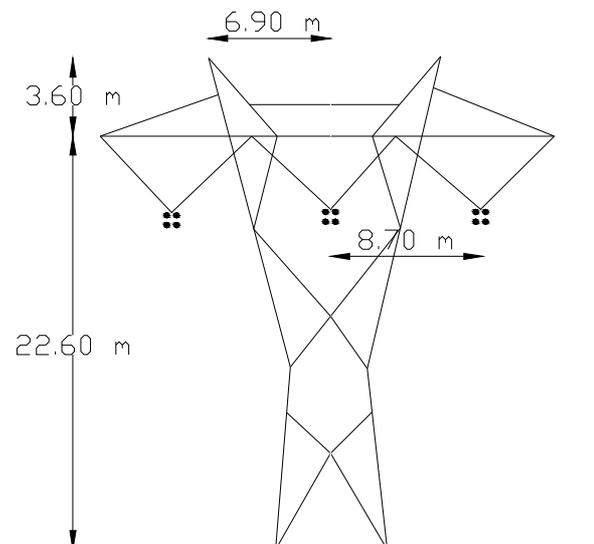
Torre S – 54



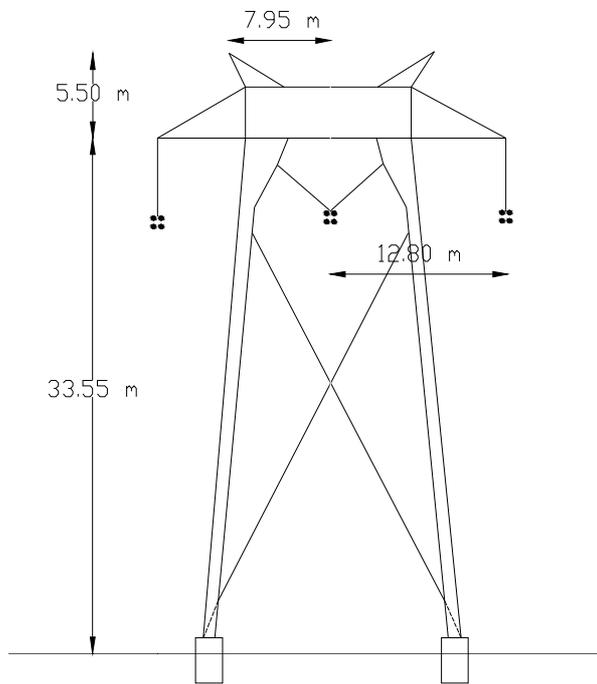
Torre S – 55



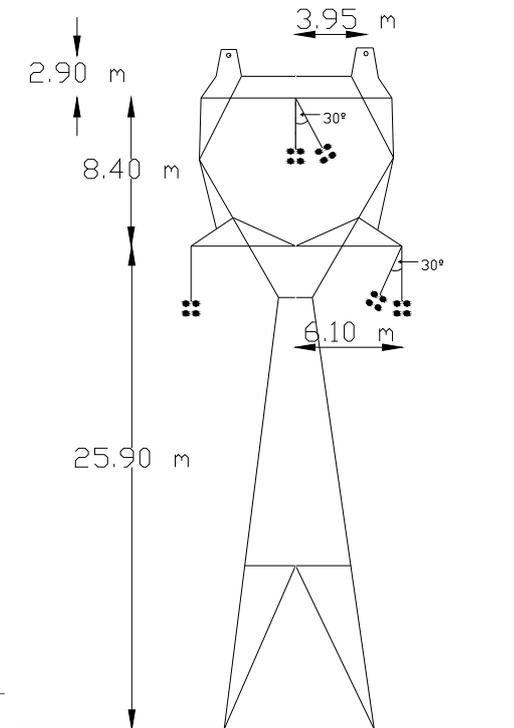
Torre S – 56



Torre S – 57



Torre S – 59



Todas las torres planteadas son útiles para 500 kV y van a ser objeto de estudio de acuerdo a las distancias existentes entre fases, es así que a continuación se presenta en la tabla 4.7. un resumen de las distancias entre fases de todas las torres, en la que se incluye también la distancia media geométrica entre fases que va a ser un dato importante en el estudio del efecto corona que se presentará en el capítulo 5.

La distancia media geométrica de un sistema trifásico se la puede calcular con la expresión 4.15:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}}$$

Donde  $D_{12}$ ,  $D_{13}$ ,  $D_{23}$  son las distancias entre fases (A, B, C).

Tipos de Torres	Distancias (m)			DMG (m)	DMG (cm)
	Entre A y B	Entre A y C	Entre B y C		
S-51 o A-51	12.65	25.30	12.65	15.94	1593.80
A - 52	12.50	25.00	12.50	15.75	1574.90
S - 53	12.20	24.40	12.20	15.37	1537.10
S - 54	10.70	21.40	10.70	13.48	1348.12
S - 55	9.00	17.40	9.00	11.21	1121.09
S - 56	8.70	17.40	8.70	10.96	1096.13
S - 57	12.80	25.60	12.80	16.13	1612.70
S - 59	10.38	12.20	10.38	10.95	1095.52

Tabla 4.7. Distancias entre fases de las torres

En la tabla 4.7. se puede observar que las distancias medias geométricas para las diferentes torres varían de una a otra, la de mayor distancia es la S-57 con 16.13 m.

## **CAPÍTULO 5**

### **CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN 500 kV**

#### **5.1 CÁLCULO DEL GRADIENTE MÁXIMO**

El gradiente máximo en configuraciones de conductores formados por haces, se calcula mediante el método de Markt y Mengele expuesto en el capítulo 3.

Los cálculos del gradiente máximo se presentan en el anexo 3, en donde se puede ver paso a paso el análisis del mismo.

#### **5.2 CÁLCULO DEL GRADIENTE CRÍTICO**

El cálculo del gradiente crítico se lo realiza mediante el método de Peek expuesto en el capítulo 2 (ecuación 2.6), donde se considera condiciones climáticas y del estado de la superficie del conductor que son los factores principales que hacen que varíen el gradiente crítico de las configuraciones en estudio.

En el anexo 4 se indica un ejemplo de los cálculos respectivos del gradiente crítico, los cuales no dependen de la disposición de las configuraciones de los haces, tampoco de la separación entre fases, son exclusivamente de las condiciones atmosféricas, del radio único del conductor y de las condiciones superficiales del mismo. Mediante las ecuaciones 2.9, 2.10, 2.11 se indica un promedio de las condiciones climáticas a las que se exponen las diferentes configuraciones.

De esta manera, se obtienen varios casos de estudio, modificando los factores que hacen variar el gradiente crítico.

Debido a que el proyecto de 500 kV empezará desde cero, se considera que el factor de rugosidad de los conductores será cercano a uno que es lo ideal por tratarse de conductores nuevos, es por eso, que se estudian tres casos de variante del coeficiente de rugosidad del conductor que son:  $m_c$  igual a 1; 0.95 y 0.90. Así también, se considera varios escenarios de condiciones ambientales, para este caso se analiza ambientes secos, lluviosos con y sin humedad, por lo que el valor de  $m_t$  es de 1 para ambientes secos, 0.25 para lluviosos y si existe humedad se considera un factor de multiplicación de 0.8.

En resumen se tienen 6 casos de estudio, presentados en la tabla 5.1.

Casos	Coeficiente del conductor	Coeficiente ambiental	
		Seco $m_t=1.00$	Sin humedad $m_t=1.00$
1	$m_c=1.00$	Seco $m_t=1.00$	Sin humedad $m_t=1.00$
		Lluvia $m_t=0.25$	
2	$m_c=0.95$	Seco $m_t=1.00$	Sin humedad $m_t=1.00$
		Lluvia $m_t=0.25$	
3	$m_c=0.90$	Seco $m_t=1.00$	Sin humedad $m_t=1.00$
		Lluvia $m_t=0.25$	
4	$m_c=1.00$	Seco $m_t=1.00$	Con humedad $m_t=0.80$
		Lluvia $m_t=0.25$	
5	$m_c=0.95$	Seco $m_t=1.00$	Con humedad $m_t=0.80$
		Lluvia $m_t=0.25$	
6	$m_c=0.90$	Seco $m_t=1.00$	Con humedad $m_t=0.80$
		Lluvia $m_t=0.25$	

Tabla 5.1. Casos de estudio de los factores que modifican el gradiente crítico

En el anexo 4 se analiza el caso 6.

### 5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Para establecer en dónde se produce o en dónde no se produce el efecto corona se realiza una comparación entre el gradiente máximo y crítico. La relación 3.17 que se aplica en este fenómeno, expresa que si el gradiente propio del conductor ( $E_{\max}$ ) es menor que el gradiente crítico ( $E_c$ ), no se produce efecto corona y viceversa, por lo tanto, para todos los casos de estudio se realiza esta comparación, obteniendo cual de las configuraciones presenta las condiciones necesarias para no llegar al efecto corona.

En el anexo 5 se presenta un ejemplo para el caso 1 de la torre S-59 para visualizar como se realiza el respectivo análisis.

#### **Caso 1:**

##### *Torre S-59*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 3900 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 700 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

##### *Torre S-57*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 5 x 636 ACSR con separación de 45.7 cm, 60 cm (dos radios); 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm, 45.7 cm; 60 cm (dos radios) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm (sin efecto corona hasta 1700

msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-56*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 3900 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 700 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-55*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 900 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-54*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm, 45.7 cm (un radio) y 5 x 636 ACSR con separación de 45.7 cm son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 1300 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

### *Torre S-53*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm, 45.7 cm (tres radios), 60 cm (un radio) y 5 x 636 ACSR con separación de 45.7 cm (tres radios), 60 cm (un radio) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 1600 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

### *Torre A-52*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm, 45.7 cm, 60 cm (dos radios) y 5 x 636 ACSR con separación de 45.7 cm, 60 cm (un radio) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 1700 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

### *Torre S-51 o A-51*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm, 45.7 cm, 60 cm (dos radios) y 5 x 636 ACSR con separación de 45.7 cm, 60 cm (un radio) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 1700 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

**Caso 2:***Torre S-59*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3400 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 300 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

*Torre S-57*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (tres radios), 45.7 cm (un radio) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm (sin efecto corona hasta 1200 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

*Torre S-56*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3400 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 200 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-55*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3500 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACAR (sin efecto corona hasta 200 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-54*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 700 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-53*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (dos radios), 45.7 cm (un radio), son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 1100 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre A-52*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (tres radios), 45.7 cm, 60 cm (un radio) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona

en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 1100 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-51 o A-51*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que las configuraciones 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (tres radios), 45.7 cm (un radio) son las que presentan menos efecto corona (hasta 4000 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 1200 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

### **Caso 3:**

#### *Torre S-59*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 2800 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores, 3 x 950 ACAR, 4 x 600 ACAR (todo el rango con efecto corona). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-57*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3800 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores (sin

efecto corona hasta 600 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-56*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 2800 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores, 3 x 950 ACAR, 4 x 600 ACAR (todo el rango con efecto corona). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-55*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 2900 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores, 3 x 950 ACAR, 4 x 600 ACAR (todo el rango con efecto corona). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-54*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3400 msnm en seco) y la que presenta mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura es 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores (sin efecto corona hasta 200 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-53*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3700 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 500 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre A-52*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3800 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 600 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-51 o A-51*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm (un radio) es la que presenta menos efecto corona (hasta 3800 msnm en seco) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 1113 ACSR (un radio) con separación de 120 cm entre subconductores y 3 x 950 ACAR (sin efecto corona hasta 600 msnm). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

### **Caso 4:**

#### *Torre S-59*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1600 msnm) y la mayoría de

configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-57*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2600 msnm) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 954 ACSR, 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores, 3 x 950 ACAR, 4 x 600 ACAR, (todo el rango con efecto corona). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

#### *Torre S-56*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1600 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-55*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1600 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-54*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2100 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### *Torre S-53*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2500 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### *Torre A-52*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2500 msnm) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 954 ACSR, 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores, 3 x 950 ACAR, 4 x 600 ACAR, (todo el rango con efecto corona). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

### *Torre S-51 o A-51*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2600 msnm) y las que presentan mayores casos de efecto corona en todo el rango de variación de la altura son 3 x 954 ACSR, 3 x 1113 ACSR con separación de 120 cm entre subconductores, 3 x 950 ACAR, 4 x 600 ACAR, (todo el rango con efecto corona). El resto de configuraciones están en condiciones intermedias de las mencionadas.

## **Caso 5:**

### *Torre S-59*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1000 msnm) y la mayoría de

configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-57*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2000 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-56*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1000 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-55*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1100 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-54*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1600 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### *Torre S-53*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1900 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### *Torre A-52*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2000 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### *Torre S-51 o A-51*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 2000 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

## **Caso 6:**

### *Torre S-59*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultado que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 500 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### *Torre S-57*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que

presenta menos efecto corona (hasta 1500 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-56*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 500 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-55*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 500 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-54*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1000 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-53*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1400 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre A-52*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1400 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

#### *Torre S-51 o A-51*

Para esta disposición de fases, la comparación realizada dan como resultados que la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm es la que presenta menos efecto corona (hasta 1500 msnm) y la mayoría de configuraciones presentan efecto corona en todo el rango de variación de la altura.

### **5.4 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR CORONA**

El cálculo de pérdidas por efecto corona se realiza mediante el método de Peek expuesto en el apartado 3.4.1, el cual consiste en que una vez realizado la comparación entre los respectivos gradientes máximo y crítico, se obtiene el rango en donde existe pérdidas por efecto corona.

De acuerdo a la manera como varían estas pérdidas se puede observar que hay una relación directamente proporcional a la altura, es decir, mientras mayor sea la altura sobre el nivel del mar, mayores son las pérdidas por efecto corona y viceversa. Es por eso, que el punto más crítico de estudio es cuando exista una altura sobre el nivel del mar de 4000 m. En estas condiciones se realiza una comparación de resultados de pérdidas para obtener las mejores características tanto del conductor como de la torre.

#### **5.4.1 PÉRDIDAS EN BUEN TIEMPO**

Se considera como buen tiempo un factor  $m_t$  de 1 y de existir humedad se le multiplica por un factor de 0.8 que corresponde a este efecto. En el anexo 6 se observan los valores de las pérdidas por efecto corona para la peor condición (4000 msnm) que son comparados en todas las configuraciones en estudio.

##### **Caso 1:**

Existen varias configuraciones de conductores y torres que para este caso de estudio no presentan pérdidas por efecto corona o son muy bajas, tal es el caso de las torres S-51 o A-51, A-52, S-53, S-57 con varias configuraciones de conductores que no presentan pérdidas.

##### **Caso 2:**

La torre S-51 o A-51 tiene unas pérdidas de 0.006 kW/km (configuración 5 x 636 ACSR, separación 60 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 0.011 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 45.7 cm); la torre S-57 tiene pérdidas de 0.012 kW/km (configuración 5 x 636 ACSR, separación 60 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

##### **Caso 3:**

La torre A-52 tiene pérdidas de 0.002 kW/km (configuración 5 x 636 ACSR, separación 45.7 cm); la torre S-57 tiene pérdidas de 0.004 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

##### **Caso 4:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 30.583 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 32.617 kW/km

(configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 34.755 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

#### **Caso 5:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 71.894 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 75.004 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 78.237 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

#### **Caso 6:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 130.597 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 134.789 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 139.121 kW/km (configuración 6 x 477 ACSR, separación 30 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

Los datos más importantes de este análisis en buen tiempo son que la torre S-57 con la configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm, presenta menores pérdidas por efecto corona.

### **5.4.2 PÉRDIDAS EN MAL TIEMPO**

#### **5.4.2.1 Pérdidas en lluvia**

Mediante el Método de Peek se calculan las pérdidas por efecto corona, considerando como mal tiempo un factor  $m_t$  de 0.25.

En el anexo 6 se observan los valores de las pérdidas por efecto corona para la peor condición (4000 msnm) que son comparados en todas las configuraciones en estudio.

Los tres primeros casos de estudio son los que consideran el efecto de la lluvia sin humedad.

### **Caso 1:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 1438.84 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 1449.348 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 1460.059 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

### **Caso 2:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 1478.96 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 1489.632 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 1500.508 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

### **Caso 3:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 1519.632 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 1530.467 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 1541.509 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

Los datos más importantes de este análisis en mal tiempo sin humedad son que la torre S-57 con la configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm, presenta menores pérdidas por efecto corona.

#### **5.4.2.2 Pérdidas en lluvia y humedad**

Mediante el Método de Peek se calculan las pérdidas por efecto corona, considerando como mal tiempo un factor  $mt$  de 0.25 y con humedad se le multiplica por un factor de 0.8 considerado para este efecto

##### **Caso 4:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 1602.630 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 1613.794 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 1625.17 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

##### **Caso 5:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 1636.447 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 1647.744 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre A-52 tiene pérdidas de 1659.254 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

##### **Caso 6:**

La torre S-57 tiene pérdidas de 1670.617 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre S-51 o A-51 tiene pérdidas de 1682.047 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm); la torre A-52 tiene

pérdidas de 1693.691 kW/km (configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm) que son las más bajas en estas condiciones.

Los datos más importantes de este análisis en mal tiempo con humedad son que la torre S-57 con la configuración 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm, presenta menores pérdidas por efecto corona.

Además se tiene en cuenta que individualmente (en cada subconductor) las pérdidas más bajas se las obtiene en la configuración 6 x 477 ACSR (Hen), con separación de 30 cm y no en la 3 x 950 ACAR, separación 45.7 cm.

Así por ejemplo, en el caso 6 que es la condición de estudio más crítica, para la torre S-57, las pérdidas individuales de la configuración 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm son 556.872 kW/km, y en la configuración 6 x 477 ACSR (Hen) con separación de 30 cm las pérdidas individuales son 434.197 kW/km.

## **5.5 COSTOS DE PÉRDIDAS ANUALES POR EFECTO CORONA**

El análisis de cálculo de los costos de pérdidas de potencia y energía por efecto corona se indica en el anexo 7, en el cual se considera las pérdidas para las peores condiciones de altura (4000 msnm), tomando en cuenta la estructura S-57 que se indican en el anexo 6.

Todas las configuraciones de conductores para el análisis de costos, se toma en cuenta con dos escenarios: seco y lluvia; dentro de los cuales se varía el coeficiente de rugosidad del conductor de 1, 0.95 y 0.90. Se considera como base o referencia la configuración 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm entre subconductores por tener las menores pérdidas en las peores condiciones, para realizar un análisis diferencial entre las pérdidas de cada configuración con la configuración base, de tal manera de obtener el valor máximo para todos los casos y tener este dato como valor de análisis para los costos de pérdidas.

Las pérdidas de potencia se las transforma a pérdidas de energía, tomando como datos: 14 horas de clima seco al día y 10 horas de clima lluvioso al día, se considera 182 días al año para cada estación.

Se calcula los costos en valor presente tanto de potencia como de energía, considerando para este análisis un interés del 7.5% anual, una proyección de tiempo de 45 años, los costos de potencia y energía en líneas de transmisión están regulados por el CONELEC, cuyos valores son: Potencia: 5.7 \$/kW-mes, Energía: 0.0469 \$/kWh. Estos valores corresponden al PRG (precio referencial de generación) que son los encargados de suministrar toda la potencia y energía por el sistema, y es a quienes se debe pagar estas pérdidas. Por último se suman estos costos para obtener las pérdidas totales expresadas en dólares.

En la tabla 5.2., se presenta los costos de pérdidas para todas las configuraciones en análisis.

Configuración	Radio (cm)	Costo de pérdidas ( dólares)	Costo de pérdidas ( miles de dólares)
3 x 954 ACSR, separación de 45,7 cm	1,52	-132355,811	-132,356
	1,465	-60430,252	-60,430
3 x 1113 ACSR, separación de 45,7 cm	1,585	-202910,256	-202,910
	1,64	-249601,205	-249,601
3 x 1113 ACSR, separación de 120 cm	1,585	263169,338	263,169
	1,64	179902,536	179,903
3 x 950 ACAR, separación de 45,7 cm	1,424	0,000	0,000
3 x 1200 ACAR, separación de 45,7 cm	1,601	-217755,040	-217,755
	1,6035	-219982,029	-219,982
4 x 750 ACAR, separación de 45,7 cm	1,266	907342,740	907,343
4 x 600 ACAR, separación de 45,7 cm	1,1285	1194494,198	1194,494
	1,1315	1186813,553	1186,814
4 x 800 ACAR, separación de 45,7 cm	1,307	850475,313	850,475
4 x 636 ACSR, separación de 45,7 cm	1,225	976972,612	976,973
	1,255	924799,237	924,799
	1,295	865759,534	865,760
	1,24	950060,840	950,061
4 x 954 ACSR, separación de 120 cm	1,52	1246716,808	1246,717
	1,465	1317250,017	1317,250
5 x 636 ACSR, separación de 45,7 cm	1,225	1704831,668	1704,832
	1,255	1689356,877	1689,357
	1,295	1810092,724	1810,093
	1,24	1861274,296	1861,274

5 x 636 ACSR, separación de 60 cm	1,225	1869274,005	1869,274
	1,255	1835141,634	1835,142
	1,295	1810092,724	1810,093
	1,24	1861274,296	1861,274
5 x 636 ACSR, separación de 80 cm	1,225	2104157,252	2104,157
	1,255	2066510,096	2066,510
	1,295	2035623,290	2035,623
	1,24	2083816,620	2083,817
6 x 477 ACSR, separación de 30 cm	1,035	2428956,334	2428,956
	1,06	2409642,798	2409,643
	1,09	2391944,986	2391,945
	1,12	2377708,728	2377,709
6 x 477 ACSR, separación de 45,7 cm	1,035	2639737,330	2639,737
	1,06	2612661,338	2612,661
	1,09	2589470,502	2589,471
	1,12	2559215,380	2559,215
6 x 477 ACSR, separación de 60 cm	1,035	2879443,718	2879,444
	1,06	2842831,699	2842,832
	1,09	2826672,738	2826,673
	1,12	2769426,000	2769,426

Tabla 5.2. Costos de pérdidas

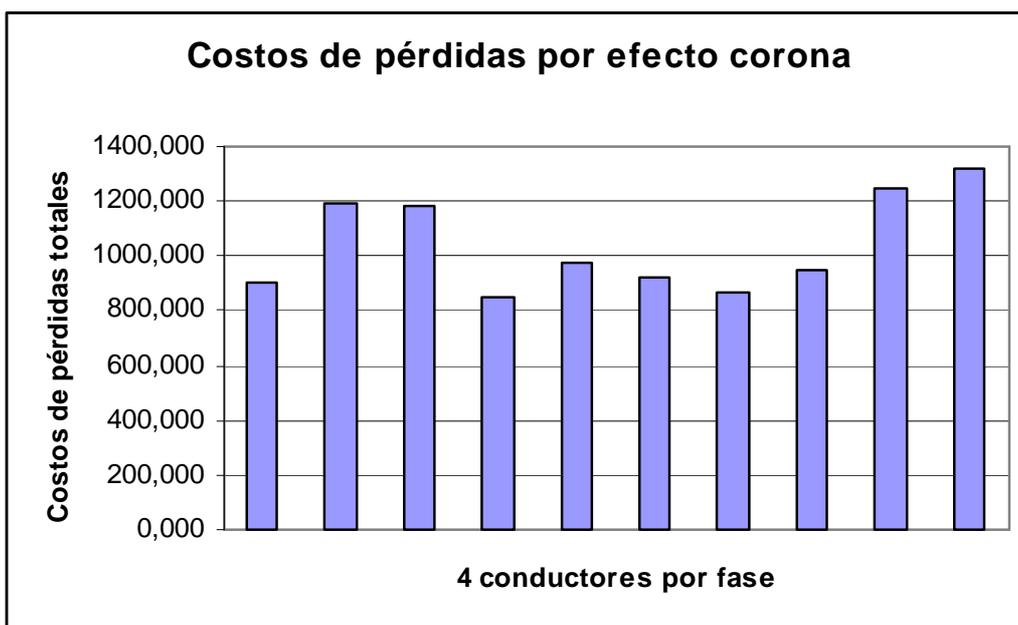
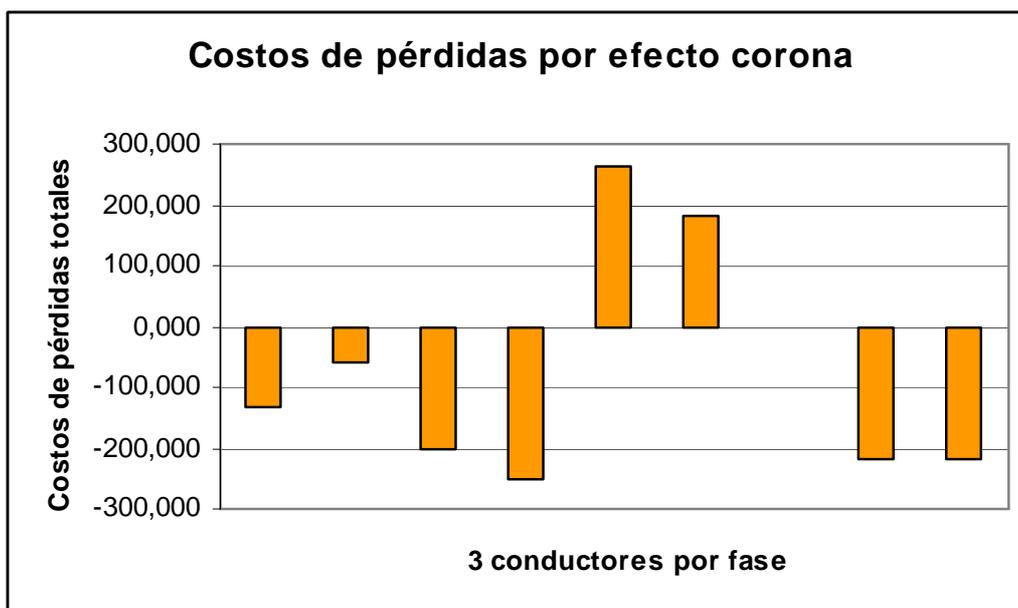
El signo negativo en los costos significa que se recupera ese dinero de los costos de inversión, haciendo el proyecto de menor costo. En cambio los de signo positivo incrementa el costo de inversión, haciendo el proyecto de mayor costo.

Las configuraciones con 4, 5 y 6 conductores por fase tienen los mayores costos de pérdidas, por tal razón no se las considera como mejores opciones para instalación del sistema.

Los costos negativos se presentan en las configuraciones con conductores ACSR y también en una configuración con conductores ACAR pero de mayor tamaño. Debido a que los conductores ACAR son más baratos que los ACSR y se tiene una mayor capacidad de transmisión con el mismo peso de los conductores, se determina que en la configuración 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm (utilizada como referencia para el estudio de costos) se tiene las menores pérdidas por efecto corona y también los menores costos por este

motivo, y por ende presenta las mejores condiciones de operación del sistema de 500 kV en el país.

En la figura 5.1., se presenta las gráficas de la comparación de costos de pérdidas en relación con el número de conductores por fase, con lo cual se indica todo lo mencionado anteriormente.



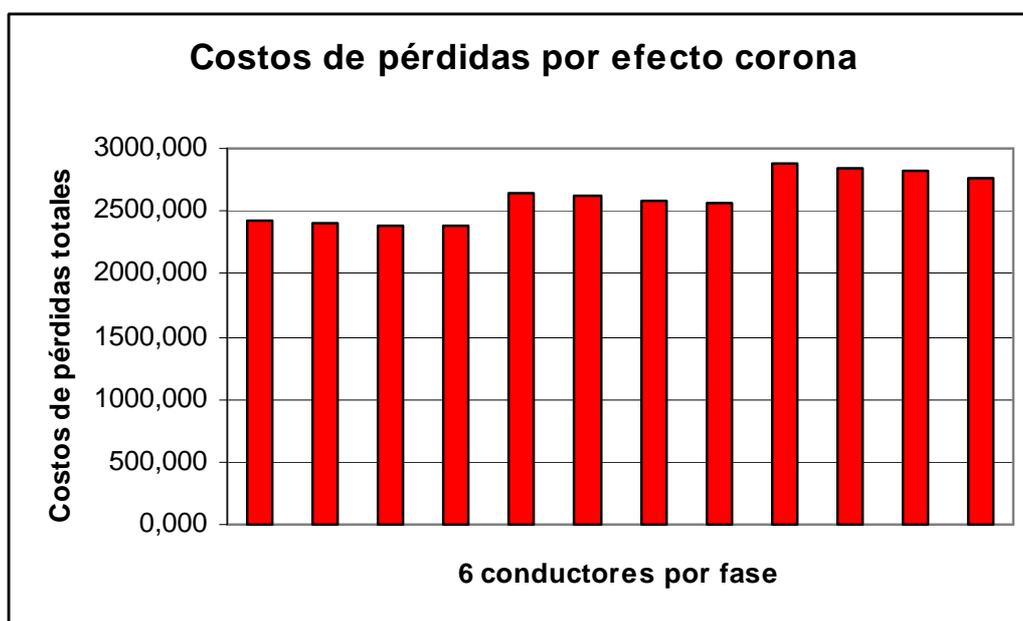
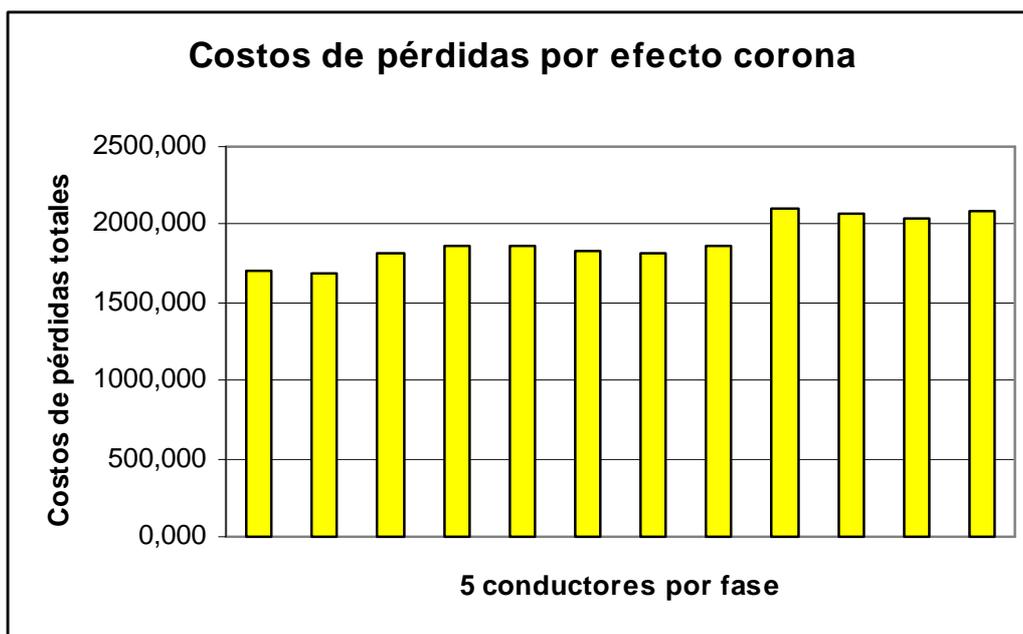


Figura 5.1. Comparación de los costos de pérdidas en función del número de conductores por fase

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- El efecto corona es un fenómeno eléctrico que depende del gradiente superficial en los conductores y este a su vez de las condiciones propias del conductor y las condiciones atmosféricas del medio en donde se encuentra la línea de transmisión.
- Mientras mayor sea el voltaje de operación, mayor será el gradiente de superficie que rodee al conductor y por lo tanto se producirán mayores pérdidas por efecto corona.
- Existen dos tipos de gradiente superficial: uno que es propio del conductor, que depende de las características geométricas de la configuración y del voltaje al que está aplicado ( $E_{max}$ ) y otro que depende de las condiciones atmosféricas y condiciones superficiales del conductor ( $E_c$ ) y es donde empieza el efecto corona.
- La relación básica de los dos gradientes superficiales es  $E_{max} < E_c$  lo que significa que no exista efecto corona teóricamente; mientras el gradiente crítico se encuentre superior al gradiente propio del conductor, no existe efecto corona y si el gradiente crítico es inferior al gradiente máximo, existe efecto corona.
- Las configuraciones de conductores para 500 kV que se tiene en práctica alrededor del mundo, dan una idea clara de que pueden ser de gran utilidad para lo planificado instalar en el país próximamente, por eso lo necesario de este estudio.

- Las estructuras con mayor distancia entre fases son las que generan menor campo eléctrico y por lo tanto, menor efecto corona. Para este caso la estructura que presenta estas condiciones es la S-57 que tiene una DMG de 16.13 m (tabla 4.7.), por lo tanto, es la mejor opción en este estudio.
- La configuración 6 x 477 ACSR con espaciado de 30 cm entre cada subconductor (apartado 5.4.1 los seis casos), resulta ser la mejor opción en cuanto al análisis realizado en condiciones de buen tiempo (clima seco), debido a que no se tiene efecto corona en todo el rango de altura en estudio (0 a 4000 m.s.n.m.)
- La configuración 6 x 477 ACSR con separación de 30 cm entre subconductores en la estructura S-57, presenta el menor número de pérdidas en buen tiempo y en las peores condiciones de altura (4000 msnm), en comparación con las otras configuraciones de conductores (tablas indicadas en el anexo 5).
- Los conductores ACAR presentan mejores características técnicas como económicas ante los conductores ACSR, por eso se considera una configuración con conductores ACAR como la mejor alternativa para 500 kV.
- La configuración 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm, presenta el menor número de pérdidas en malas condiciones de clima (lluvia y humedad), y en condiciones de buen tiempo presenta un rango bajo de las pérdidas por efecto corona (tablas indicadas en el anexo 6).
- El análisis de costos de pérdidas por efecto corona, da una estimación de qué se tiene en base a un presupuesto de dinero, así que el costo de pérdidas es una parte del costo total del proyecto. La configuración 3 x 950 ACAR con separación de 45.7 cm tiene una estimación del costo de pérdidas baja en relación a las otras configuraciones; por tal motivo, se considera a esta configuración como la mejor del estudio (Figura 5.1.).

- Los espaciadores amortiguadores triples con grapa abulonada y separación entre subconductores de 45.7 cm (Figura 4.16.) son los que presentan las mejores características para la configuración 3 x 950 ACAR, los cuales se los debe instalar a una distancia menor de 76.20 m (250 pies) para reducir las oscilaciones y para mantener el haz de conductores con el mismo espaciamiento.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Realizar un análisis económico más profundo de las configuraciones de 500 kV expuesto en este proyecto, para determinar si la configuración establecida como óptima técnicamente y económicamente por pérdidas, es la mejor opción como proyecto total.
- Considerar como tema de tesis los niveles de Radio Interferencia y Ruido Audible en 500 kV, para indicar como influye en la franja de servidumbre a este nivel de voltaje.
- Utilizar instrumentos termográficos para medir y encontrar puntos de producción de efecto corona.
- Utilización de grasa aislante como método para contrarrestar el efecto corona.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] RODRÍGUEZ Francisco, El Transporte de la Energía Eléctrica en Alta Tensión, Universidad Politécnica de Valencia, 2003.
- [2] ARÉVALO, Liliana. Estudio de la Física del Efecto Corona, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2002.
- [3] Environmental Analysis of the Changes to the Proposed Mead-Phoenix Transmission Project, 1989 U.S.
- [4] YA LI B.SC.A, Contribution À L'étude De L'Influence Des Décharges De Couronne Sur La Perte De Volume D'une Aspérité De Glace Portée À Un Potentiel Élevé, 1993.
- [5] MORALES, Nelson. Fenómeno Corona en Líneas de Transmisión y sus Efectos, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 1986.
- [6] NDIAYE Ibrahima, Initiation Et Développement Des Décharges Couronnes Sur Une Surface De Glace, Université Du Québec, 2003
- [7] NELS E. Jewell-Larsen, Optimization and Miniaturization of Electrostatic Air Pumps for Thermal Management, University of Washington, 2004
- [8] EHV Transmission Line Reference Book, 1968.
- [9] LEDESMA Pablo, El Efecto Corona, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Carlos III de Madrid.
- [10] STRAHLER Arthur, Geografía Física, Quinta edición, Omega, España, 1981.
- [11] INTERNATIONAL STANDARD CISPR 18-2: "Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High Voltage Equipment: Methods for Measurement and Procedures for Determinating Limits", 1982.
- [12] Suppression of Corona on EHV Transmission Line with Bundled Conductors and Spacers, August 2004.
- [13] PEEK. F. W, Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering, Mc Graw Hill, 1920.
- [14] FOLLIA, Jorge, Revisión de Procedimientos de Cálculo de Radio-Interferencia Producido por Líneas de E.A.T., Universidad de Chile, Facultad

de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 1982.

- [15] PALMA, Carlos “Ruido Audible y Perturbaciones a Frecuencias de Radio y TV Provocadas por Líneas de Transmisión” Memoria Ingeniero Civil Electricista, Universidad de Chile, 1998.
- [16] JIMÉNEZ Obed, Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza Nuevo León, 2006.
- [17] DESIGN MANUAL FOR HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES, Rus Bulletin 1724E-200, 2005.
- [18] DYNALAB, Catálogo de Productos de Sistema Amortiguante, Argentina, 2007.
- [19] BERRY POWER SYSTEMS, Dampers & Spacers, 2006.
- [20] MOHAMED E, El-Hawary, Electrical Power Systems, Design and Analysis, pag 101 – 151.
- [21] FERNANDES DE OLIVEIRA, Cláudia M, Otimização de Linhas de Transmissão na Classe de 500 kV.
- [22] VERNIERI, J. Z. Aspectos Ambientales de Campos Eléctricos y Magnéticos en Líneas de Alta Tensión, Argentina, 2002.

## ANEXOS

### ANEXO 1.

#### CONSTANTES Y RESISTENCIA DIELECTRICA

<b>Material</b>	<b>Constante Dielectrica</b>	<b>Resistencia dielectrica (V/m)</b>
Aire	1	$3 \times 10^6$
TiBaO <sub>3</sub>	1200	$7,5 \times 10^6$
Freón	1	$8 \times 10^6$
Aceite	2,3	$1,5 \times 10^7$
Vidrio	6	$3 \times 10^7$
Parafina	2	$3 \times 10^7$
Cuarzo	4	$4 \times 10^7$
Poliestireno	2,6	$5 \times 10^7$
Mica	6	$2 \times 10^8$

## ANEXO 2.

## DATOS DE CONDUCTORES

## ACAR (ALUMINUM CONDUCTOR ALLOY REINFORCED)

Tamaño AWG/MCM	Sección (mm <sup>2</sup> )	Hilos		Diámetro total (mm)	Peso total (kg/km)	Tasa de fuerza (kg)	Máxima resistencia a 20 °C (Ohms/km)
		Aluminio/EC	Aleación/ 6201				
600	304	15x4.51	4x4.51	22.57	838	5645	0.0977
600	304	12x4.51	7x4.51	22.57	838	6404	0.0999
600	304	33x3.23	4x3.23	22.63	838	5333	0.0963
600	304	30x3.23	7x3.23	22.63	838	57783	0.0974
600	304	24x3.23	13x3.23	22.63	838	6391	0.0997
600	304	18x3.23	19x3.23	22.63	838	7131	0.1022
750	380	33x3.62	4x3.62	25.32	1048	6538	0.0770
750	380	30x3.62	7x3.62	25.32	1048	7071	0.0779
750	380	24x3.62	13x3.62	25.32	1048	7780	0.0797
750	380	18x3.62	19x3.62	25.32	1048	8651	0.0817
800	405	33x3.73	4x3.73	26.14	1117	6941	0.0722
800	405	30x3.73	7x3.73	26.14	1117	7507	0.0731
800	405	24x3.73	13x3.73	26.14	1117	8260	0.0748
800	405	18x3.73	19x3.73	26.14	1117	9185	0.0766
950	481	33x4.07	4x4.07	28.48	1327	8127	0.0608
950	481	30x4.07	7x4.07	28.48	1327	8811	0.0615
950	481	24x4.07	13x4.07	28.48	1327	9733	0.0630
950	481	18x4.07	19x4.07	28.48	1327	10857	0.0645
1200	608	33x4.58	4x4.58	32.02	1677	10292	0.0481
1200	608	30x4.58	7x4.58	32.02	1677	11157	0.0487
1200	608	24x4.58	13x4.58	32.02	1677	12325	0.0498
1200	608	18x4.58	19x4.58	32.02	1677	13748	0.0514
1200	608	54x3.56	7x3.56	32.07	1677	10480	0.0482
1200	608	48x3.56	13x3.56	32.07	1677	11185	0.0488
1200	608	42x3.56	19x3.56	32.07	1677	12101	0.0495
1200	608	33x3.56	28x3.56	32.07	1677	12941	0.0506

### ACSR (ALUMINUM CONDUCTOR STEEL REINFORCED)

Código palabra (1)	Tamaño del conductor		Hilos No x Dia (pulg)		Sección de cruce (pulg <sup>2</sup> )		Diámetro (pulg)	Diámetro (mm)	Peso nominal				Tasa de fuerza (2)		Resistencia (Ohms/1000pies) (3)			Amp (4)	% de peso	
	AWG o Kcmil	mm <sup>2</sup>	Al	Steel	Total	Al			Total	Total	Al	Steel	lb	kN	DC 20°C	AC 40°C	AC 75°C		Al	Steel
									kg/km	lb/kft	lb/kft	lb/kft								
Pelican	477	242	18x0.1628	1x0.1628	0.3954	0.3746	0.814	20.7	772	517	447	70	12300	54.7	0.0362	0.0393	0.0444	605	86.44	13.56
Toucan	477	242	22x0.1472	7x0.0818	0.4114	0.3746	0.834	21.2	855	573	448	125	15400	68.5	0.0360	0.0390	0.0441	610	78.18	21.82
Hawk	477	242	26x0.1354	7x0.1053	0.4357	0.3746	0.858	21.8	977	655	448	207	19400	86.3	0.0356	0.0387	0.0437	620	68.40	31.60
Hen	477	242	30x0.1261	7x0.1261	0.4621	0.3746	0.883	22.4	1110	744	448	296	23400	104	0.0354	0.0384	0.0434	625	60.21	39.78
Goldfinch	636	322	22x0.1700	7x0.0944	0.5485	0.4995	0.963	24.5	1138	763	597	166	20100	89.4	0.0270	0.0294	0.0331	730	78.24	21.76
Grosbeak	636	322	26x0.1564	7x0.1216	0.5808	0.4995	0.990	25.1	1301	872	597	275	25000	111	0.0267	0.0291	0.0329	740	68.46	31.54
Egret	636	322	30x0.1456	19x0.0874	0.6133	0.4995	1.019	25.9	1469	985	598	387	31600	141	0.0266	0.0289	0.0326	750	60.71	39.29
Goose	636	322	54x0.1085	7x0.1058	0.5642	0.4995	0.977	24.8	1220	818	599	219	23700	105	0.0270	0.0298	0.0340	725	73.23	26.77
Cardinal	954	483	54x0.1329	7x0.1329	0.8464	0.7493	1.196	30.4	1830	1227	898	329	34300	153	0.0179	0.0200	0.0228	940	73.19	26.81
Phoenix	954	483	42x0.1507	7x0.0387	0.7878	0.7493	1.155	29.3	1532	1027	897	130	24500	109	0.0181	0.0199	0.0224	935	87.34	12.66
Beuamont	1113	564	42x0.1628	7x0.0904	0.9190	0.8741	1.248	31.7	1787	1198	1046	152	28400	126	0.0155	0.0172	0.0194	1025	87.31	12.69
Finch	1113	564	54x0.1436	19x0.0862	0.9850	0.8741	1.293	32.8	2124	1424	1048	376	40300	179	0.0154	0.0172	0.0196	1030	73.60	26.40

- (1) Código de palabras como indica el significado con clase A núcleo galvanizado (CSA S1A tipo acero)
- (2) Tasa de hilos indica que son aplicados en CSA S1 tipo núcleo. Valores de fuerza basados en método de cálculo CSA C49.1 y CAN/CSA C61089
- (3) Basado en conductividad de 61.2% (promedio) IACS a 20°C de aluminio y 8% IACS a 20°C para núcleo de acero. Resistencia AC para una línea de conductor incluida el efecto de magnetización del núcleo. Para convertir a ohms/km se multiplica por 3.281
- (4) Basado en la temperatura del conductor de 75°C, 32°C ambiente, 0.6 m/s (2 pies/s) velocidad del viento, 0.6 coeficiente de emisividad, a todo sol (como en CSA C22.3 parte 1)

**ANEXO 3.**  
**GRADIENTE MÁXIMO**

**TORRE S-51 o A-51**

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor 1 (cm)	Radio del conductor 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor 4 (cm)	R (cm)	r <sub>eq 1</sub> (cm)	r <sub>eq 2</sub> (cm)	r <sub>eq 3</sub> (cm)	r <sub>eq 4</sub> (cm)	E <sub>sub 1</sub> (kV/cm)	E <sub>sub 2</sub> (kV/cm)	E <sub>sub 3</sub> (kV/cm)	E <sub>sub 4</sub> (kV/cm)	E <sub>max 1</sub> (kV/cm)	E <sub>max 2</sub> (kV/cm)	E <sub>max 3</sub> (kV/cm)	E <sub>max 4</sub> (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	19.104	19.770	---	---	21.306	21.965	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	18.376	17.803	---	---	20.583	20.016	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	21.311	20.655	---	---	22.286	21.633	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	20.298	---	---	---	22.489	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	18.205	18.179	---	---	20.414	20.388	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	18.483	---	---	---	20.655	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	20.599	20.548	---	---	22.758	22.706	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	17.936	---	---	---	20.112	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	19.066	18.636	18.093	18.848	21.234	20.807	20.268	21.018
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	18.694	19.346	---	---	19.698	20.348	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	16.324	15.953	15.484	16.136	18.382	18.013	17.547	18.195
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	17.244	16.853	16.359	17.046	18.899	18.510	18.019	18.702
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	18.335	17.921	17.398	18.126	19.656	19.243	18.722	19.447
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	15.522	15.171	14.769	14.389	18.200	17.851	17.452	17.075
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	16.924	16.542	16.106	15.693	18.841	18.460	18.027	17.616
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	17.974	17.569	17.107	16.670	19.524	19.121	18.661	18.226

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE A-52

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor 1 (cm)	Radio del conductor 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor 4 (cm)	R (cm)	req 1 (cm)	req 2 (cm)	req 3 (cm)	req 4 (cm)	Esub 1 (kV/cm)	Esub 2 (kV/cm)	Esub 3 (kV/cm)	Esub 4 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 4 (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	19.153	19.820	---	---	21.360	22.021	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	18.423	17.848	---	---	20.636	20.067	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	21.375	20.716	---	---	22.353	21.697	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	20.350	---	---	---	22.546	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	18.252	18.225	---	---	20.467	20.441	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	18.534	---	---	---	20.712	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	20.656	20.604	---	---	22.820	22.768	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	17.985	---	---	---	20.168	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	19.118	18.687	18.142	18.900	21.292	20.864	20.324	21.076
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	18.756	19.410	---	---	19.764	20.415	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	16.372	15.999	15.529	16.183	18.435	18.066	17.598	18.248
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	17.297	16.905	16.409	17.099	18.958	18.568	18.075	18.760
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	18.396	17.980	17.455	18.186	19.720	19.306	18.784	19.511
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	15.566	15.213	14.811	14.430	18.251	17.901	17.502	17.123
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	16.976	16.593	16.156	15.741	18.899	18.517	18.082	17.670
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	18.033	17.627	17.163	16.724	19.588	19.184	18.722	18.285

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE S-53

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor r 1 (cm)	Radio del conductor r 2 (cm)	Radio del conductor r 3 (cm)	Radio del conductor r 4 (cm)	R (cm)	r <sub>eq</sub> 1 (cm)	r <sub>eq</sub> 2 (cm)	r <sub>eq</sub> 3 (cm)	r <sub>eq</sub> 4 (cm)	E <sub>sub</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 4 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 4 (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	19.253	19.923	---	---	21.472	22.136	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	18.519	17.942	---	---	20.744	20.173	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	21.505	20.843	---	---	22.489	21.830	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	20.456	---	---	---	22.664	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	18.347	18.321	---	---	20.574	20.548	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	18.638	---	---	---	20.828	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	20.771	20.719	---	---	22.947	22.895	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	18.087	---	---	---	20.281	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	19.225	18.792	18.244	19.006	21.412	20.981	20.438	21.194
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	18.884	19.542	---	---	19.899	20.555	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	16.470	16.096	15.623	16.281	18.546	18.174	17.704	18.358
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	17.407	17.012	16.514	17.207	19.078	18.686	18.190	18.879
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	18.520	18.102	17.573	18.308	19.854	19.437	18.911	19.643
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	15.656	15.302	14.897	14.514	18.357	18.005	17.603	17.223
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	17.083	16.698	16.258	15.841	19.018	18.634	18.197	17.782
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	18.154	17.745	17.279	16.837	19.719	19.312	18.848	18.409

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE S-54

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor r 1 (cm)	Radio del conductor r 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor r 4 (cm)	R (cm)	r <sub>eq</sub> 1 (cm)	r <sub>eq</sub> 2 (cm)	r <sub>eq</sub> 3 (cm)	r <sub>eq</sub> 4 (cm)	E <sub>sub</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 4 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 4 (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	19.812	20.500	---	---	22.095	22.777	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	19.059	18.466	---	---	21.348	20.762	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	22.235	21.553	---	---	23.253	22.573	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	21.047	---	---	---	23.318	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	18.882	18.855	---	---	21.174	21.147	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	19.221	---	---	---	21.480	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	21.416	21.363	---	---	23.660	23.607	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	18.653	---	---	---	20.917	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	19.825	19.379	18.816	19.600	22.080	21.637	21.078	21.856
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	19.607	20.289	---	---	20.661	21.340	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	17.022	16.636	16.148	16.826	19.167	18.784	18.299	18.973
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	18.024	17.617	17.102	17.818	19.755	19.349	18.837	19.550
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	19.221	18.787	18.240	19.001	20.605	20.173	19.629	20.386
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	16.161	15.796	15.378	14.983	18.949	18.586	18.172	17.780
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	17.686	17.288	16.833	16.402	19.689	19.293	18.840	18.412
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	18.836	18.413	17.930	17.472	20.461	20.039	19.559	19.103

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE S-55

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor 1 (cm)	Radio del conductor 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor 4 (cm)	R (cm)	r <sub>eq</sub> 1 (cm)	r <sub>eq</sub> 2 (cm)	r <sub>eq</sub> 3 (cm)	r <sub>eq</sub> 4 (cm)	E <sub>sub</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 4 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 4 (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	20.655	21.370	---	---	23.035	23.743	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	19.872	19.256	---	---	22.260	21.650	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	23.350	22.637	---	---	24.419	23.709	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	21.938	---	---	---	24.305	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	19.689	19.660	---	---	22.078	22.050	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	20.105	---	---	---	22.468	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	22.394	22.338	---	---	24.740	24.685	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	19.513	---	---	---	21.881	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	20.735	20.270	19.682	20.500	23.093	22.632	22.049	22.860
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	20.723	21.440	---	---	21.837	22.551	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	17.863	17.459	16.948	17.659	20.115	19.713	19.206	19.912
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	18.970	18.542	18.002	18.754	20.792	20.366	19.829	20.576
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	20.300	19.844	19.268	20.069	21.762	21.308	20.735	21.532
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	16.929	16.546	16.110	15.697	19.849	19.470	19.037	18.627
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	18.610	18.191	17.714	17.261	20.717	20.301	19.826	19.377
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	19.887	19.441	18.933	18.451	21.602	21.158	20.652	20.173

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE S-56

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor 1 (cm)	Radio del conductor 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor 4 (cm)	R (cm)	r <sub>eq 1</sub> (cm)	r <sub>eq 2</sub> (cm)	r <sub>eq 3</sub> (cm)	r <sub>eq 4</sub> (cm)	E <sub>sub 1</sub> (kV/cm)	E <sub>sub 2</sub> (kV/cm)	E <sub>sub 3</sub> (kV/cm)	E <sub>sub 4</sub> (kV/cm)	E <sub>max 1</sub> (kV/cm)	E <sub>max 2</sub> (kV/cm)	E <sub>max 3</sub> (kV/cm)	E <sub>max 4</sub> (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	20.763	21.481	---	---	23.155	23.867	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	19.976	19.357	---	---	22.376	21.764	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	23.494	22.777	---	---	24.569	23.856	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	22.052	---	---	---	24.432	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	19.792	19.764	---	---	22.194	22.166	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	20.218	---	---	---	22.595	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	22.519	22.463	---	---	24.879	24.823	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	19.623	---	---	---	22.004	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	20.852	20.384	19.794	20.615	23.223	22.759	22.173	22.989
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	20.868	21.590	---	---	21.990	22.708	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	17.972	17.565	17.051	17.766	20.237	19.833	19.323	20.033
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	19.093	18.662	18.118	18.875	20.926	20.498	19.957	20.709
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	20.440	19.981	19.402	20.208	21.912	21.455	20.878	21.681
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	17.027	16.643	16.204	15.789	19.965	19.583	19.148	18.736
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	18.729	18.308	17.828	17.373	20.850	20.431	19.954	19.501
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	20.023	19.575	19.063	18.578	21.750	21.304	20.794	20.312

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE S-57

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor 1 (cm)	Radio del conductor 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor 4 (cm)	R (cm)	req 1 (cm)	req 2 (cm)	req 3 (cm)	req 4 (cm)	Esub 1 (kV/cm)	Esub 2 (kV/cm)	Esub 3 (kV/cm)	Esub 4 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 4 (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	19.057	19.720	---	---	21.252	21.910	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	18.329	17.758	---	---	20.532	19.965	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	21.249	20.594	---	---	22.221	21.569	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	20.248	---	---	---	22.433	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	18.159	18.133	---	---	20.363	20.337	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	18.433	---	---	---	20.600	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	20.544	20.493	---	---	22.697	22.646	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	17.888	---	---	---	20.058	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	19.014	18.586	18.044	18.798	21.177	20.751	20.213	20.961
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	18.632	19.283	---	---	19.634	20.281	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	16.277	15.907	15.439	16.090	18.329	17.961	17.496	18.143
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	17.191	16.801	16.309	16.994	18.842	18.454	17.964	18.646
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	18.276	17.863	17.341	18.067	19.592	19.181	18.661	19.384
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	15.479	15.128	14.728	14.349	18.150	17.801	17.404	17.028
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	16.873	16.492	16.057	15.645	18.784	18.404	17.972	17.562
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	17.916	17.513	17.052	16.616	19.461	19.059	18.601	18.167

## GRADIENTE MÁXIMO

## TORRE S-59

Subconductores	Número (designación kCM)	Tipo	Separación (cm)	Radio del conductor 1 (cm)	Radio del conductor 2 (cm)	Radio del conductor 3 (cm)	Radio del conductor 4 (cm)	R (cm)	r <sub>eq</sub> 1 (cm)	r <sub>eq</sub> 2 (cm)	r <sub>eq</sub> 3 (cm)	r <sub>eq</sub> 4 (cm)	E <sub>sub</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>sub</sub> 4 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 1 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 2 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 3 (kV/cm)	E <sub>max</sub> 4 (kV/cm)
3	954	ACSR	45.7	1.52	1.465	0	0	26.385	14.697	14.517	0	0	20.766	21.484	---	---	23.158	23.870	---	---
3	1113	ACSR	45.7	1.585	1.64	0	0	26.385	14.903	15.074	0	0	19.979	19.360	---	---	22.379	21.767	---	---
3	1113	ACSR	120	1.585	1.64	0	0	69.282	28.366	28.690	0	0	23.498	22.781	---	---	24.573	23.859	---	---
3	950	ACAR	45.7	1.424	0	0	0	26.385	14.381	0	0	0	22.054	---	---	---	24.435	---	---	---
3	1200	ACAR	45.7	1.601	1.6035	0	0	26.385	14.953	14.961	0	0	19.795	19.766	---	---	22.197	22.169	---	---
4	750	ACAR	45.7	1.266	0	0	0	32.315	20.332	0	0	0	20.221	---	---	---	22.598	---	---	---
4	600	ACAR	45.7	1.1285	1.1315	0	0	32.315	19.756	19.769	0	0	22.523	22.467	---	---	24.882	24.827	---	---
4	800	ACAR	45.7	1.307	0	0	0	32.315	20.494	0	0	0	19.626	---	---	---	22.007	---	---	---
4	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	32.315	20.165	20.287	20.447	20.227	20.855	20.387	19.796	20.618	23.227	22.763	22.176	22.992
4	954	ACSR	120	1.52	1.465	0	0	84.853	43.901	43.498	0	0	20.872	21.594	---	---	21.994	22.712	---	---
5	636	ACSR	45.7	1.225	1.255	1.295	1.24	38.875	26.863	26.993	27.163	26.929	17.974	17.568	17.054	17.769	20.240	19.836	19.326	20.036
5	636	ACSR	60	1.225	1.255	1.295	1.24	51.039	33.400	33.562	33.773	33.481	19.096	18.665	18.121	18.878	20.929	20.501	19.960	20.713
5	636	ACSR	80	1.225	1.255	1.295	1.24	68.052	42.043	42.247	42.513	42.146	20.444	19.985	19.405	20.212	21.916	21.459	20.882	21.685
6	477	ACSR	30	1.035	1.06	1.09	1.12	30.000	23.074	23.166	23.274	23.379	17.030	16.645	16.207	15.791	19.968	19.586	19.151	18.739
6	477	ACSR	45.7	1.035	1.06	1.09	1.12	45.700	32.768	32.898	33.052	33.202	18.732	18.311	17.831	17.375	20.853	20.434	19.957	19.505
6	477	ACSR	60	1.035	1.06	1.09	1.12	60.000	41.113	41.276	41.469	41.657	20.027	19.578	19.066	18.581	21.754	21.307	20.798	20.315

## ANEXO 4.

### GRADIENTE CRÍTICO

Condición 6: Factor m superficial = 0.90

Factor m ambiental = 1 para seco. Con humedad m = 0.8

Factor m ambiental = 0.25 para lluvia. Con humedad m = 0.8

Altura	Temperatura	Presión atmosférica	Densidad de aire
m	°C	mm Hg	
0	25	760	1,0000
100	24,5	750,516	0,9892
200	24	741,150	0,9785
300	23,5	731,901	0,9679
400	23	722,767	0,9574
500	22,5	713,748	0,9471
600	22	704,841	0,9368
700	21,5	696,045	0,9267
800	21	687,359	0,9167
900	20,5	678,781	0,9068
1000	20	670,311	0,8970
1100	19,5	661,946	0,8873
1200	19	653,685	0,8778

Conductor	3 x 954 ACSR				3 x 1113 ACSR			
	1,520		1,465		1,585		1,640	
Radio del conductor (cm)	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Factor "m"	0,72	0,18	0,72	0,18	0,72	0,18	0,72	0,18
<b>Ec (kV/cm)</b>	19,089	4,772	19,160	4,790	19,010	4,752	18,947	4,737
	18,903	4,726	18,974	4,743	18,824	4,706	18,761	4,690
	18,719	4,680	18,789	4,697	18,641	4,660	18,578	4,645
	18,537	4,634	18,607	4,652	18,459	4,615	18,397	4,599
	18,357	4,589	18,426	4,607	18,279	4,570	18,218	4,554
	18,178	4,545	18,248	4,562	18,102	4,525	18,040	4,510
	18,002	4,501	18,071	4,518	17,926	4,481	17,864	4,466
	17,827	4,457	17,896	4,474	17,751	4,438	17,691	4,423
	17,655	4,414	17,723	4,431	17,579	4,395	17,519	4,380
	17,484	4,371	17,551	4,388	17,408	4,352	17,348	4,337
	17,315	4,329	17,382	4,345	17,240	4,310	17,180	4,295
	17,147	4,287	17,214	4,304	17,073	4,268	17,013	4,253
	16,982	4,245	17,048	4,262	16,907	4,227	16,848	4,212

1300	18,5	645,528	0,8683		16,818	4,204	16,884	4,221	16,744	4,186	16,685	4,171
1400	18	637,472	0,8589		16,655	4,164	16,721	4,180	16,582	4,146	16,524	4,131
1500	17,5	629,517	0,8497		16,495	4,124	16,560	4,140	16,422	4,105	16,364	4,091
1600	17	621,661	0,8405		16,336	4,084	16,401	4,100	16,264	4,066	16,206	4,051
1700	16,5	613,903	0,8315		16,179	4,045	16,244	4,061	16,107	4,027	16,049	4,012
1800	16	606,242	0,8225		16,023	4,006	16,088	4,022	15,952	3,988	15,894	3,974
1900	15,5	598,677	0,8137		15,869	3,967	15,933	3,983	15,798	3,949	15,741	3,935
2000	15	591,206	0,8049		15,717	3,929	15,781	3,945	15,646	3,911	15,589	3,897
2100	14,5	583,828	0,7962		15,566	3,892	15,629	3,907	15,496	3,874	15,439	3,860
2200	14	576,542	0,7877		15,417	3,854	15,480	3,870	15,347	3,837	15,291	3,823
2300	13,5	569,347	0,7792		15,269	3,817	15,332	3,833	15,200	3,800	15,144	3,786
2400	13	562,242	0,7708		15,123	3,781	15,185	3,796	15,054	3,763	14,998	3,750
2500	12,5	555,226	0,7625		14,979	3,745	15,041	3,760	14,910	3,727	14,854	3,714
2600	12	548,297	0,7543		14,835	3,709	14,897	3,724	14,767	3,692	14,712	3,678
2700	11,5	541,455	0,7462		14,694	3,673	14,755	3,689	14,626	3,656	14,571	3,643
2800	11	534,698	0,7382		14,554	3,638	14,615	3,654	14,486	3,621	14,431	3,608
2900	10,5	528,025	0,7303		14,415	3,604	14,476	3,619	14,347	3,587	14,293	3,573
3000	10	521,436	0,7225		14,278	3,569	14,338	3,584	14,210	3,553	14,157	3,539
3100	9,5	514,929	0,7147		14,142	3,535	14,202	3,550	14,075	3,519	14,022	3,505
3200	9	508,503	0,7070		14,007	3,502	14,067	3,517	13,941	3,485	13,888	3,472
3300	8,5	502,157	0,6995		13,874	3,469	13,934	3,483	13,808	3,452	13,755	3,439
3400	8	495,891	0,6920		13,743	3,436	13,802	3,450	13,677	3,419	13,624	3,406
3500	7,5	489,702	0,6845		13,612	3,403	13,671	3,418	13,547	3,387	13,495	3,374
3600	7	483,591	0,6772		13,483	3,371	13,542	3,385	13,418	3,355	13,366	3,342
3700	6,5	477,557	0,6699		13,356	3,339	13,414	3,353	13,291	3,323	13,239	3,310
3800	6	471,597	0,6628		13,229	3,307	13,287	3,322	13,165	3,291	13,113	3,278
3900	5,5	465,712	0,6557		13,104	3,276	13,162	3,290	13,040	3,260	12,989	3,247
4000	5	459,900	0,6487		12,980	3,245	13,038	3,259	12,917	3,229	12,866	3,216

Altura	Temperatura	Presión atmosférica	Densidad de aire
m	°C	mm Hg	
0	25	760	1.0000
100	24.5	750.516	0.9892
200	24	741.150	0.9785
300	23.5	731.901	0.9679
400	23	722.767	0.9574
500	22.5	713.748	0.9471
600	22	704.841	0.9368
700	21.5	696.045	0.9267
800	21	687.359	0.9167
900	20.5	678.781	0.9068
1000	20	670.311	0.8970
1100	19.5	661.946	0.8873
1200	19	653.685	0.8778
1300	18.5	645.528	0.8683
1400	18	637.472	0.8589
1500	17.5	629.517	0.8497
1600	17	621.661	0.8405
1700	16.5	613.903	0.8315
1800	16	606.242	0.8225
1900	15.5	598.677	0.8137
2000	15	591.206	0.8049
2100	14.5	583.828	0.7962
2200	14	576.542	0.7877
2300	13.5	569.347	0.7792
2400	13	562.242	0.7708
2500	12.5	555.226	0.7625
2600	12	548.297	0.7543
2700	11.5	541.455	0.7462

Conductor	3 x 950 ACAR		3 x 1200 ACAR				4 x 750 ACAR	
Radio del conductor (cm)	1.424		1.601		1.604		1.266	
Factor "m"	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18
<b>Ec (kV/cm)</b>	19.215	4.804	18.991	4.748	18.988	4.747	19.454	4.864
	19.029	4.757	18.806	4.701	18.803	4.701	19.266	4.817
	18.844	4.711	18.622	4.656	18.619	4.655	19.080	4.770
	18.661	4.665	18.441	4.610	18.438	4.609	18.896	4.724
	18.481	4.620	18.261	4.565	18.258	4.565	18.714	4.679
	18.302	4.575	18.083	4.521	18.080	4.520	18.534	4.633
	18.124	4.531	17.907	4.477	17.905	4.476	18.356	4.589
	17.949	4.487	17.733	4.433	17.731	4.433	18.179	4.545
	17.776	4.444	17.561	4.390	17.558	4.390	18.004	4.501
	17.604	4.401	17.391	4.348	17.388	4.347	17.832	4.458
	17.434	4.359	17.222	4.305	17.219	4.305	17.661	4.415
	17.266	4.317	17.055	4.264	17.052	4.263	17.491	4.373
	17.100	4.275	16.890	4.222	16.887	4.222	17.324	4.331
	16.936	4.234	16.727	4.182	16.724	4.181	17.158	4.289
	16.773	4.193	16.565	4.141	16.562	4.141	16.994	4.248
	16.611	4.153	16.405	4.101	16.402	4.101	16.832	4.208
	16.452	4.113	16.246	4.062	16.244	4.061	16.671	4.168
	16.294	4.074	16.090	4.022	16.087	4.022	16.512	4.128
	16.138	4.034	15.935	3.984	15.932	3.983	16.355	4.089
	15.983	3.996	15.781	3.945	15.778	3.945	16.199	4.050
	15.830	3.958	15.629	3.907	15.627	3.907	16.045	4.011
	15.679	3.920	15.479	3.870	15.476	3.869	15.892	3.973
	15.529	3.882	15.330	3.833	15.328	3.832	15.741	3.935
	15.381	3.845	15.183	3.796	15.180	3.795	15.592	3.898
	15.234	3.809	15.037	3.759	15.035	3.759	15.444	3.861
	15.089	3.772	14.893	3.723	14.891	3.723	15.298	3.824
	14.945	3.736	14.751	3.688	14.748	3.687	15.153	3.788
14.803	3.701	14.609	3.652	14.607	3.652	15.009	3.752	

2800	11	534.698	0.7382			14.662	3.666	14.470	3.617	14.467	3.617	14.867	3.717
2900	10.5	528.025	0.7303			14.523	3.631	14.331	3.583	14.329	3.582	14.727	3.682
3000	10	521.436	0.7225			14.385	3.596	14.195	3.549	14.192	3.548	14.588	3.647
3100	9.5	514.929	0.7147			14.249	3.562	14.059	3.515	14.057	3.514	14.451	3.613
3200	9	508.503	0.7070			14.114	3.528	13.925	3.481	13.923	3.481	14.314	3.579
3300	8.5	502.157	0.6995			13.980	3.495	13.792	3.448	13.790	3.448	14.180	3.545
3400	8	495.891	0.6920			13.848	3.462	13.661	3.415	13.659	3.415	14.046	3.512
3500	7.5	489.702	0.6845			13.717	3.429	13.531	3.383	13.529	3.382	13.914	3.479
3600	7	483.591	0.6772			13.587	3.397	13.403	3.351	13.400	3.350	13.784	3.446
3700	6.5	477.557	0.6699			13.459	3.365	13.276	3.319	13.273	3.318	13.655	3.414
3800	6	471.597	0.6628			13.332	3.333	13.150	3.287	13.147	3.287	13.527	3.382
3900	5.5	465.712	0.6557			13.207	3.302	13.025	3.256	13.023	3.256	13.400	3.350
4000	5	459.900	0.6487			13.082	3.271	12.902	3.225	12.899	3.225	13.275	3.319

Altura	Temperatura	Presión atmosférica	Densidad de aire
m	°C	mm Hg	
0	25	760	1.0000
100	24.5	750.516	0.9892
200	24	741.150	0.9785
300	23.5	731.901	0.9679
400	23	722.767	0.9574
500	22.5	713.748	0.9471
600	22	704.841	0.9368
700	21.5	696.045	0.9267
800	21	687.359	0.9167
900	20.5	678.781	0.9068
1000	20	670.311	0.8970
1100	19.5	661.946	0.8873

Conductor	4 x 600 ACAR				4 x 800 ACAR	
Radio del conductor (cm)	1.129		1.132		1.307	
Factor "m"	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18
<b>Ec (kV/cm)</b>	19.702	4.925	19.696	4.924	19.388	4.847
	19.512	4.878	19.506	4.877	19.201	4.800
	19.325	4.831	19.319	4.830	19.015	4.754
	19.140	4.785	19.134	4.783	18.831	4.708
	18.956	4.739	18.950	4.738	18.649	4.662
	18.775	4.694	18.769	4.692	18.470	4.617
	18.595	4.649	18.589	4.647	18.292	4.573
	18.417	4.604	18.412	4.603	18.115	4.529
	18.241	4.560	18.236	4.559	17.941	4.485
	18.067	4.517	18.062	4.515	17.769	4.442
	17.895	4.474	17.889	4.472	17.598	4.399
	17.724	4.431	17.719	4.430	17.429	4.357

1200	19	653.685	0.8778			17.556	4.389	17.550	4.388	17.262	4.315
1300	18.5	645.528	0.8683			17.389	4.347	17.383	4.346	17.096	4.274
1400	18	637.472	0.8589			17.223	4.306	17.218	4.304	16.933	4.233
1500	17.5	629.517	0.8497			17.060	4.265	17.054	4.264	16.771	4.193
1600	17	621.661	0.8405			16.898	4.224	16.892	4.223	16.610	4.153
1700	16.5	613.903	0.8315			16.737	4.184	16.732	4.183	16.452	4.113
1800	16	606.242	0.8225			16.579	4.145	16.574	4.143	16.295	4.074
1900	15.5	598.677	0.8137			16.422	4.105	16.417	4.104	16.139	4.035
2000	15	591.206	0.8049			16.267	4.067	16.261	4.065	15.985	3.996
2100	14.5	583.828	0.7962			16.113	4.028	16.108	4.027	15.833	3.958
2200	14	576.542	0.7877			15.961	3.990	15.955	3.989	15.682	3.921
2300	13.5	569.347	0.7792			15.810	3.953	15.805	3.951	15.533	3.883
2400	13	562.242	0.7708			15.661	3.915	15.656	3.914	15.386	3.846
2500	12.5	555.226	0.7625			15.514	3.878	15.508	3.877	15.240	3.810
2600	12	548.297	0.7543			15.368	3.842	15.362	3.841	15.095	3.774
2700	11.5	541.455	0.7462			15.223	3.806	15.218	3.804	14.952	3.738
2800	11	534.698	0.7382			15.080	3.770	15.075	3.769	14.811	3.703
2900	10.5	528.025	0.7303			14.938	3.735	14.933	3.733	14.671	3.668
3000	10	521.436	0.7225			14.798	3.700	14.793	3.698	14.532	3.633
3100	9.5	514.929	0.7147			14.660	3.665	14.655	3.664	14.395	3.599
3200	9	508.503	0.7070			14.522	3.631	14.518	3.629	14.259	3.565
3300	8.5	502.157	0.6995			14.387	3.597	14.382	3.595	14.124	3.531
3400	8	495.891	0.6920			14.252	3.563	14.247	3.562	13.991	3.498
3500	7.5	489.702	0.6845			14.119	3.530	14.114	3.529	13.860	3.465
3600	7	483.591	0.6772			13.987	3.497	13.983	3.496	13.729	3.432
3700	6.5	477.557	0.6699			13.857	3.464	13.852	3.463	13.600	3.400
3800	6	471.597	0.6628			13.728	3.432	13.723	3.431	13.473	3.368
3900	5.5	465.712	0.6557			13.600	3.400	13.595	3.399	13.346	3.337
4000	5	459.900	0.6487			13.474	3.368	13.469	3.367	13.221	3.305

Altura	Temperatura	Presión atmosférica	Densidad de aire
m	°C	mm Hg	
0	25	760	1.0000
100	24.5	750.516	0.9892
200	24	741.150	0.9785
300	23.5	731.901	0.9679
400	23	722.767	0.9574
500	22.5	713.748	0.9471
600	22	704.841	0.9368
700	21.5	696.045	0.9267
800	21	687.359	0.9167
900	20.5	678.781	0.9068
1000	20	670.311	0.8970
1100	19.5	661.946	0.8873
1200	19	653.685	0.8778
1300	18.5	645.528	0.8683
1400	18	637.472	0.8589
1500	17.5	629.517	0.8497
1600	17	621.661	0.8405
1700	16.5	613.903	0.8315
1800	16	606.242	0.8225
1900	15.5	598.677	0.8137
2000	15	591.206	0.8049
2100	14.5	583.828	0.7962
2200	14	576.542	0.7877
2300	13.5	569.347	0.7792
2400	13	562.242	0.7708
2500	12.5	555.226	0.7625
2600	12	548.297	0.7543
2700	11.5	541.455	0.7462

Conductor	4 x 636 ACSR								4 x 954 ACSR			
	1.225		1.255		1.295		1.240		1.520		1.465	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Factor "m"	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18
<b>Ec (kV/cm)</b>	19.524	4.881	19.472	4.868	19.407	4.852	19.498	4.874	19.089	4.772	19.160	4.790
	19.335	4.834	19.284	4.821	19.219	4.805	19.310	4.827	18.903	4.726	18.974	4.743
	19.149	4.787	19.098	4.775	19.034	4.758	19.123	4.781	18.719	4.680	18.789	4.697
	18.965	4.741	18.914	4.729	18.850	4.712	18.939	4.735	18.537	4.634	18.607	4.652
	18.782	4.696	18.732	4.683	18.668	4.667	18.757	4.689	18.357	4.589	18.426	4.607
	18.601	4.650	18.552	4.638	18.488	4.622	18.576	4.644	18.178	4.545	18.248	4.562
	18.423	4.606	18.373	4.593	18.310	4.578	18.398	4.599	18.002	4.501	18.071	4.518
	18.246	4.561	18.197	4.549	18.134	4.533	18.221	4.555	17.827	4.457	17.896	4.474
	18.071	4.518	18.022	4.505	17.959	4.490	18.046	4.512	17.655	4.414	17.723	4.431
	17.898	4.474	17.849	4.462	17.787	4.447	17.873	4.468	17.484	4.371	17.551	4.388
	17.726	4.432	17.678	4.419	17.616	4.404	17.702	4.425	17.315	4.329	17.382	4.345
	17.557	4.389	17.509	4.377	17.447	4.362	17.532	4.383	17.147	4.287	17.214	4.304
	17.389	4.347	17.341	4.335	17.280	4.320	17.365	4.341	16.982	4.245	17.048	4.262
	17.223	4.306	17.175	4.294	17.114	4.279	17.199	4.300	16.818	4.204	16.884	4.221
	17.058	4.265	17.011	4.253	16.950	4.238	17.034	4.259	16.655	4.164	16.721	4.180
	16.896	4.224	16.848	4.212	16.788	4.197	16.872	4.218	16.495	4.124	16.560	4.140
	16.735	4.184	16.688	4.172	16.628	4.157	16.711	4.178	16.336	4.084	16.401	4.100
	16.575	4.144	16.529	4.132	16.469	4.117	16.552	4.138	16.179	4.045	16.244	4.061
	16.417	4.104	16.371	4.093	16.312	4.078	16.394	4.099	16.023	4.006	16.088	4.022
	16.261	4.065	16.215	4.054	16.156	4.039	16.238	4.060	15.869	3.967	15.933	3.983
16.107	4.027	16.061	4.015	16.002	4.001	16.084	4.021	15.717	3.929	15.781	3.945	
15.954	3.989	15.908	3.977	15.850	3.963	15.931	3.983	15.566	3.892	15.629	3.907	
15.803	3.951	15.757	3.939	15.699	3.925	15.780	3.945	15.417	3.854	15.480	3.870	
15.653	3.913	15.608	3.902	15.550	3.888	15.630	3.908	15.269	3.817	15.332	3.833	
15.505	3.876	15.460	3.865	15.403	3.851	15.482	3.871	15.123	3.781	15.185	3.796	
15.358	3.840	15.313	3.828	15.256	3.814	15.336	3.834	14.979	3.745	15.041	3.760	
15.213	3.803	15.169	3.792	15.112	3.778	15.191	3.798	14.835	3.709	14.897	3.724	
15.069	3.767	15.025	3.756	14.969	3.742	15.047	3.762	14.694	3.673	14.755	3.689	

2800	11	534.698	0.7382	14.927	3.732	14.883	3.721	14.827	3.707	14.905	3.726	14.554	3.638	14.615	3.654
2900	10.5	528.025	0.7303	14.786	3.697	14.743	3.686	14.687	3.672	14.764	3.691	14.415	3.604	14.476	3.619
3000	10	521.436	0.7225	14.647	3.662	14.604	3.651	14.548	3.637	14.625	3.656	14.278	3.569	14.338	3.584
3100	9.5	514.929	0.7147	14.509	3.627	14.466	3.617	14.411	3.603	14.487	3.622	14.142	3.535	14.202	3.550
3200	9	508.503	0.7070	14.373	3.593	14.330	3.582	14.275	3.569	14.351	3.588	14.007	3.502	14.067	3.517
3300	8.5	502.157	0.6995	14.238	3.559	14.195	3.549	14.140	3.535	14.216	3.554	13.874	3.469	13.934	3.483
3400	8	495.891	0.6920	14.104	3.526	14.062	3.515	14.007	3.502	14.083	3.521	13.743	3.436	13.802	3.450
3500	7.5	489.702	0.6845	13.972	3.493	13.930	3.482	13.875	3.469	13.951	3.488	13.612	3.403	13.671	3.418
3600	7	483.591	0.6772	13.841	3.460	13.799	3.450	13.745	3.436	13.820	3.455	13.483	3.371	13.542	3.385
3700	6.5	477.557	0.6699	13.711	3.428	13.669	3.417	13.616	3.404	13.690	3.423	13.356	3.339	13.414	3.353
3800	6	471.597	0.6628	13.583	3.396	13.541	3.385	13.488	3.372	13.562	3.391	13.229	3.307	13.287	3.322
3900	5.5	465.712	0.6557	13.456	3.364	13.415	3.354	13.362	3.340	13.435	3.359	13.104	3.276	13.162	3.290
4000	5	459.900	0.6487	13.330	3.333	13.289	3.322	13.237	3.309	13.310	3.327	12.980	3.245	13.038	3.259

Altura	Temperatura	Presión atmosférica	Densidad de aire
m	°C	mm Hg	
0	25	760	1.0000
100	24.5	750.516	0.9892
200	24	741.150	0.9785
300	23.5	731.901	0.9679
400	23	722.767	0.9574
500	22.5	713.748	0.9471
600	22	704.841	0.9368
700	21.5	696.045	0.9267
800	21	687.359	0.9167
900	20.5	678.781	0.9068
1000	20	670.311	0.8970
1100	19.5	661.946	0.8873

Conductor	5 x 636 ACSR							
Radio del conductor (cm)	1.225		1.255		1.295		1.240	
Factor "m"	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18
<b>Ec (kV/cm)</b>	19.524	4.881	19.472	4.868	19.407	4.852	19.498	4.874
	19.335	4.834	19.284	4.821	19.219	4.805	19.310	4.827
	19.149	4.787	19.098	4.775	19.034	4.758	19.123	4.781
	18.965	4.741	18.914	4.729	18.850	4.712	18.939	4.735
	18.782	4.696	18.732	4.683	18.668	4.667	18.757	4.689
	18.601	4.650	18.552	4.638	18.488	4.622	18.576	4.644
	18.423	4.606	18.373	4.593	18.310	4.578	18.398	4.599
	18.246	4.561	18.197	4.549	18.134	4.533	18.221	4.555
	18.071	4.518	18.022	4.505	17.959	4.490	18.046	4.512
	17.898	4.474	17.849	4.462	17.787	4.447	17.873	4.468
17.726	4.432	17.678	4.419	17.616	4.404	17.702	4.425	
17.557	4.389	17.509	4.377	17.447	4.362	17.532	4.383	

1200	19	653.685	0.8778			17.389	4.347	17.341	4.335	17.280	4.320	17.365	4.341
1300	18.5	645.528	0.8683			17.223	4.306	17.175	4.294	17.114	4.279	17.199	4.300
1400	18	637.472	0.8589			17.058	4.265	17.011	4.253	16.950	4.238	17.034	4.259
1500	17.5	629.517	0.8497			16.896	4.224	16.848	4.212	16.788	4.197	16.872	4.218
1600	17	621.661	0.8405			16.735	4.184	16.688	4.172	16.628	4.157	16.711	4.178
1700	16.5	613.903	0.8315			16.575	4.144	16.529	4.132	16.469	4.117	16.552	4.138
1800	16	606.242	0.8225			16.417	4.104	16.371	4.093	16.312	4.078	16.394	4.099
1900	15.5	598.677	0.8137			16.261	4.065	16.215	4.054	16.156	4.039	16.238	4.060
2000	15	591.206	0.8049			16.107	4.027	16.061	4.015	16.002	4.001	16.084	4.021
2100	14.5	583.828	0.7962			15.954	3.989	15.908	3.977	15.850	3.963	15.931	3.983
2200	14	576.542	0.7877			15.803	3.951	15.757	3.939	15.699	3.925	15.780	3.945
2300	13.5	569.347	0.7792			15.653	3.913	15.608	3.902	15.550	3.888	15.630	3.908
2400	13	562.242	0.7708			15.505	3.876	15.460	3.865	15.403	3.851	15.482	3.871
2500	12.5	555.226	0.7625			15.358	3.840	15.313	3.828	15.256	3.814	15.336	3.834
2600	12	548.297	0.7543			15.213	3.803	15.169	3.792	15.112	3.778	15.191	3.798
2700	11.5	541.455	0.7462			15.069	3.767	15.025	3.756	14.969	3.742	15.047	3.762
2800	11	534.698	0.7382			14.927	3.732	14.883	3.721	14.827	3.707	14.905	3.726
2900	10.5	528.025	0.7303			14.786	3.697	14.743	3.686	14.687	3.672	14.764	3.691
3000	10	521.436	0.7225			14.647	3.662	14.604	3.651	14.548	3.637	14.625	3.656
3100	9.5	514.929	0.7147			14.509	3.627	14.466	3.617	14.411	3.603	14.487	3.622
3200	9	508.503	0.7070			14.373	3.593	14.330	3.582	14.275	3.569	14.351	3.588
3300	8.5	502.157	0.6995			14.238	3.559	14.195	3.549	14.140	3.535	14.216	3.554
3400	8	495.891	0.6920			14.104	3.526	14.062	3.515	14.007	3.502	14.083	3.521
3500	7.5	489.702	0.6845			13.972	3.493	13.930	3.482	13.875	3.469	13.951	3.488
3600	7	483.591	0.6772			13.841	3.460	13.799	3.450	13.745	3.436	13.820	3.455
3700	6.5	477.557	0.6699			13.711	3.428	13.669	3.417	13.616	3.404	13.690	3.423
3800	6	471.597	0.6628			13.583	3.396	13.541	3.385	13.488	3.372	13.562	3.391
3900	5.5	465.712	0.6557			13.456	3.364	13.415	3.354	13.362	3.340	13.435	3.359
4000	5	459.900	0.6487			13.330	3.333	13.289	3.322	13.237	3.309	13.310	3.327

Altura	Temperatura	Presión atmosférica	Densidad de aire
m	°C	mm Hg	
0	25	760	1.0000
100	24.5	750.516	0.9892
200	24	741.150	0.9785
300	23.5	731.901	0.9679
400	23	722.767	0.9574
500	22.5	713.748	0.9471
600	22	704.841	0.9368
700	21.5	696.045	0.9267
800	21	687.359	0.9167
900	20.5	678.781	0.9068
1000	20	670.311	0.8970
1100	19.5	661.946	0.8873
1200	19	653.685	0.8778
1300	18.5	645.528	0.8683
1400	18	637.472	0.8589
1500	17.5	629.517	0.8497
1600	17	621.661	0.8405
1700	16.5	613.903	0.8315
1800	16	606.242	0.8225
1900	15.5	598.677	0.8137
2000	15	591.206	0.8049
2100	14.5	583.828	0.7962
2200	14	576.542	0.7877
2300	13.5	569.347	0.7792
2400	13	562.242	0.7708
2500	12.5	555.226	0.7625
2600	12	548.297	0.7543
2700	11.5	541.455	0.7462

Conductor	6 x 477 ACSR							
Radio del conductor (cm)	1.035		1.060		1.090		1.120	
Factor "m"	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18	0.72	0.18
<b>Ec (kV/cm)</b>	19.897	4.974	19.842	4.961	19.779	4.945	19.718	4.930
	19.707	4.927	19.652	4.913	19.589	4.897	19.529	4.882
	19.519	4.880	19.464	4.866	19.402	4.850	19.342	4.835
	19.332	4.833	19.278	4.820	19.216	4.804	19.156	4.789
	19.148	4.787	19.094	4.774	19.032	4.758	18.973	4.743
	18.965	4.741	18.912	4.728	18.850	4.713	18.791	4.698
	18.784	4.696	18.731	4.683	18.670	4.668	18.611	4.653
	18.606	4.651	18.553	4.638	18.492	4.623	18.433	4.608
	18.429	4.607	18.376	4.594	18.316	4.579	18.257	4.564
	18.254	4.563	18.201	4.550	18.141	4.535	18.083	4.521
	18.080	4.520	18.028	4.507	17.968	4.492	17.911	4.478
	17.909	4.477	17.857	4.464	17.797	4.449	17.740	4.435
	17.739	4.435	17.688	4.422	17.628	4.407	17.571	4.393
	17.571	4.393	17.520	4.380	17.461	4.365	17.404	4.351
	17.405	4.351	17.354	4.338	17.295	4.324	17.239	4.310
	17.240	4.310	17.189	4.297	17.131	4.283	17.075	4.269
	17.077	4.269	17.027	4.257	16.969	4.242	16.913	4.228
	16.916	4.229	16.866	4.216	16.808	4.202	16.753	4.188
	16.756	4.189	16.707	4.177	16.649	4.162	16.594	4.149
	16.598	4.150	16.549	4.137	16.492	4.123	16.437	4.109
16.442	4.111	16.393	4.098	16.336	4.084	16.282	4.070	
16.287	4.072	16.239	4.060	16.182	4.046	16.128	4.032	
16.134	4.034	16.086	4.021	16.030	4.007	15.976	3.994	
15.983	3.996	15.934	3.984	15.879	3.970	15.825	3.956	
15.833	3.958	15.785	3.946	15.729	3.932	15.676	3.919	
15.684	3.921	15.637	3.909	15.581	3.895	15.528	3.882	
15.538	3.884	15.490	3.872	15.435	3.859	15.382	3.846	
15.392	3.848	15.345	3.836	15.290	3.823	15.238	3.809	

2800	11	534.698	0.7382		15.248	3.812	15.201	3.800	15.147	3.787	15.094	3.774
2900	10.5	528.025	0.7303		15.106	3.776	15.059	3.765	15.005	3.751	14.953	3.738
3000	10	521.436	0.7225		14.965	3.741	14.918	3.730	14.864	3.716	14.813	3.703
3100	9.5	514.929	0.7147		14.825	3.706	14.779	3.695	14.725	3.681	14.674	3.668
3200	9	508.503	0.7070		14.687	3.672	14.641	3.660	14.588	3.647	14.537	3.634
3300	8.5	502.157	0.6995		14.550	3.638	14.504	3.626	14.451	3.613	14.401	3.600
3400	8	495.891	0.6920		14.415	3.604	14.369	3.592	14.317	3.579	14.266	3.567
3500	7.5	489.702	0.6845		14.281	3.570	14.236	3.559	14.183	3.546	14.133	3.533
3600	7	483.591	0.6772		14.148	3.537	14.103	3.526	14.051	3.513	14.001	3.500
3700	6.5	477.557	0.6699		14.017	3.504	13.972	3.493	13.920	3.480	13.871	3.468
3800	6	471.597	0.6628		13.887	3.472	13.843	3.461	13.791	3.448	13.742	3.435
3900	5.5	465.712	0.6557		13.759	3.440	13.714	3.429	13.663	3.416	13.614	3.403
4000	5	459.900	0.6487		13.631	3.408	13.587	3.397	13.536	3.384	13.487	3.372





























## ANEXO 6.

## PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA A 4000 msnm

Condición 1: Factor m superficial = 1

Factor m ambiental = 1 para seco. Sin humedad m = 1

Factor m ambiental = 0.25 para lluvia. Sin humedad m = 1

Torre S-59		Torre S-57		Torre S-56		Torre S-55	
3 x 954 ACSR							
seco	75,010	seco	17,242	seco	74,887	seco	70,032
lluvia	1830,216	lluvia	1440,187	lluvia	1829,582	lluvia	1804,276
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	34,314	seco	1,615	seco	34,229	seco	30,909
lluvia	1839,330	lluvia	1440,227	lluvia	1838,681	lluvia	1812,806
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	103,867	seco	24,087	seco	103,697	seco	97,001
lluvia	1931,693	lluvia	1510,004	lluvia	1931,005	lluvia	1903,580
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	118,007	seco	41,214	seco	117,855	seco	111,843
lluvia	1825,851	lluvia	1438,840	lluvia	1825,222	lluvia	1800,126
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	45,101	seco	4,632	seco	45,003	seco	41,206
lluvia	1840,162	lluvia	1440,924	lluvia	1839,512	lluvia	1813,565
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	69,008	seco	9,034	seco	68,868	seco	63,406
lluvia	2203,596	lluvia	1720,836	lluvia	2202,809	lluvia	2171,400
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	158,097	seco	55,186	seco	157,893	seco	149,837
lluvia	2186,616	lluvia	1718,841	lluvia	2185,855	lluvia	2155,494

4 x 800 ACAR							
seco	48,729	seco	2,667	seco	48,611	seco	43,997
lluvia	2206,160	lluvia	1719,402	lluvia	2205,366	lluvia	2173,675

4 x 636 ACSR							
seco	54,317	seco	4,145	seco	54,192	seco	49,327
lluvia	2199,940	lluvia	1719,910	lluvia	2199,161	lluvia	2168,048

4 x 954 ACSR							
seco	52,048	seco	0,254	seco	51,895	seco	45,938
lluvia	2377,023	lluvia	1828,643	lluvia	2376,133	lluvia	2340,596

5 x 636 ACSR							
seco	0,216	seco	0,000	seco	0,226	seco	0,728
lluvia	2533,112	lluvia	1943,458	lluvia	2532,144	lluvia	2493,543

5 x 636 ACSR							
seco	2,847	seco	3,901	seco	2,811	seco	1,551
lluvia	2587,560	lluvia	1982,633	lluvia	2586,566	lluvia	2546,948

5 x 636 ACSR							
seco	20,987	seco	0,056	seco	20,882	seco	16,909
lluvia	2661,681	lluvia	2038,029	lluvia	2660,657	lluvia	2619,802

6 x 477 ACSR							
seco	0,205	seco	0,000	seco	0,195	seco	0,001
lluvia	2767,608	lluvia	2123,108	lluvia	2766,550	lluvia	2724,356

6 x 477 ACSR							
seco	0,027	seco	0,000	seco	0,023	seco	0,092
lluvia	2844,318	lluvia	2175,140	lluvia	2843,218	lluvia	2799,363

6 x 477 ACSR							
seco	8,956	seco	0,000	seco	8,884	seco	6,239
lluvia	2920,262	lluvia	2230,956	lluvia	2919,129	lluvia	2873,939

<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>	
seco	0,027	seco	0,000	seco	0,023	seco	0,001
lluvia	1825,851	lluvia	1438,840	lluvia	1825,222	lluvia	1800,126

Torre S-54		Torre S-53		Torre A-52		Torre S-51 o A-51	
3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR	
seco	37,711	seco	21,797	seco	19,413	seco	18,302
lluvia	1609,580	lluvia	1483,771	lluvia	1461,558	lluvia	1450,771
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	10,829	seco	3,221	seco	2,335	seco	1,956
lluvia	1613,906	lluvia	1485,000	lluvia	1462,177	lluvia	1451,097
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	52,395	seco	30,394	seco	27,093	seco	25,555
lluvia	1692,866	lluvia	1557,010	lluvia	1533,049	lluvia	1521,416
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	70,264	seco	48,023	seco	44,494	seco	42,824
lluvia	1606,980	lluvia	1482,111	lluvia	1460,059	lluvia	1449,348
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	17,328	seco	7,150	seco	5,801	seco	5,195
lluvia	1614,140	lluvia	1485,468	lluvia	1462,763	lluvia	1451,739
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	28,535	seco	13,046	seco	10,912	seco	9,943
lluvia	1930,134	lluvia	1774,629	lluvia	1747,208	lluvia	1733,895
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	94,112	seco	64,310	seco	59,581	seco	57,343
lluvia	1921,950	lluvia	1771,093	lluvia	1744,462	lluvia	1731,529
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	15,904	seco	5,035	seco	3,737	seco	3,175
lluvia	1930,337	lluvia	1773,600	lluvia	1745,971	lluvia	1732,558
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	19,231	seco	6,998	seco	5,453	seco	4,771
lluvia	1928,955	lluvia	1773,992	lluvia	1746,422	lluvia	1733,038
4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR	
seco	11,952	seco	1,612	seco	0,774	seco	0,476
lluvia	2066,115	lluvia	1889,545	lluvia	1858,488	lluvia	1843,419

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,923	seco	9,016	seco	0,000	seco	0,000
lluvia	2198,089	lluvia	2008,742	lluvia	1975,448	lluvia	1959,295

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,085	seco	1,487	seco	2,573	seco	3,208
lluvia	2243,785	lluvia	2049,577	lluvia	2015,436	lluvia	1998,873

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,302	seco	0,005	seco	0,025	seco	0,002
lluvia	2307,225	lluvia	2107,028	lluvia	2071,838	lluvia	2054,767

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	3,177	seco	0,000	seco	0,000	seco	0,000
lluvia	2401,416	lluvia	2194,461	lluvia	2158,073	lluvia	2140,418

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,332	seco	2,212	seco	0,000	seco	0,000
lluvia	2463,908	lluvia	2249,144	lluvia	2211,401	lluvia	2193,091

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	1,586	seco	0,163	seco	0,174	seco	0,044
lluvia	2528,345	lluvia	2307,158	lluvia	2268,293	lluvia	2249,440

<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>	
seco	0,085	seco	0,000	seco	0,000	seco	0,000
lluvia	1606,980	lluvia	1482,111	lluvia	1460,059	lluvia	1449,348

**mejor opción de todas**

seco	0,000	kW/km
lluvia	1438,840	kW/km

Condición 2: Factor m superficial = 0.95

Factor m ambiental = 1 para seco. Sin humedad m = 1

Factor m ambiental = 0.25 para lluvia. Sin humedad m = 1

Torre S-59		Torre S-57		Torre S-56		Torre S-55	
3 x 954 ACSR							
seco	119,668	seco	41,042	seco	119,512	seco	113,336
lluvia	1877,366	lluvia	1481,585	lluvia	1876,723	lluvia	1851,072
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	69,363	seco	13,810	seco	69,241	seco	64,468
lluvia	1890,776	lluvia	1486,242	lluvia	1890,118	lluvia	1863,861
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	154,889	seco	51,428	seco	154,682	seco	146,508
lluvia	1979,670	lluvia	1552,626	lluvia	1978,975	lluvia	1951,235
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	168,677	seco	72,601	seco	168,494	seco	161,267
lluvia	1871,522	lluvia	1478,960	lluvia	1870,885	lluvia	1845,456
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	83,318	seco	20,607	seco	83,186	seco	77,976
lluvia	1892,177	lluvia	1486,547	lluvia	1891,517	lluvia	1865,184
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	118,435	seco	31,034	seco	118,252	seco	111,060
lluvia	2264,465	lluvia	1774,453	lluvia	2263,667	lluvia	2231,826
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	220,618	seco	94,042	seco	220,377	seco	210,837
lluvia	2240,081	lluvia	1766,055	lluvia	2239,311	lluvia	2208,578
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	93,057	seco	18,392	seco	92,893	seco	86,471
lluvia	2269,214	lluvia	1774,899	lluvia	2268,408	lluvia	2236,266
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	100,190	seco	21,762	seco	100,021	seco	93,371
lluvia	2258,614	lluvia	1773,109	lluvia	2257,824	lluvia	2226,297

4 x 954 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	99,694	seco	11,029	seco	99,483	seco	91,237
lluvia	2442,260	lluvia	1889,376	lluvia	2441,359	lluvia	2405,423

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	8,536	seco	0,270	seco	8,477	seco	6,277
lluvia	2619,045	lluvia	2019,030	lluvia	2618,062	lluvia	2578,847

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	24,663	seco	0,012	seco	24,556	seco	20,491
lluvia	2671,389	lluvia	2056,951	lluvia	2670,398	lluvia	2630,424

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	59,523	seco	0,326	seco	59,348	seco	52,566
lluvia	2739,998	lluvia	2110,529	lluvia	2738,979	lluvia	2698,324

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,915	seco	1,381	seco	0,895	seco	0,284
lluvia	2865,504	lluvia	2208,880	lluvia	2864,428	lluvia	2821,513

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	13,749	seco	0,081	seco	13,666	seco	10,528
lluvia	2939,623	lluvia	2259,278	lluvia	2938,507	lluvia	2893,995

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	40,906	seco	1,291	seco	40,753	seco	34,871
lluvia	3010,252	lluvia	2313,295	lluvia	3009,132	lluvia	2964,438

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	0,915	seco	0,012	seco	0,895	seco	0,284
lluvia	1871,522	lluvia	1478,960	lluvia	1870,885	lluvia	1845,456

Torre S-54		Torre S-53		Torre A-52		Torre S-51 o A-51	
3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR	
seco	70,700	seco	47,979	seco	44,382	seco	42,681
lluvia	1653,593	lluvia	1525,861	lluvia	1503,297	lluvia	1492,338
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	33,062	seco	18,013	seco	15,805	seco	14,782
lluvia	1661,890	lluvia	1531,429	lluvia	1508,398	lluvia	1497,214
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	90,255	seco	60,474	seco	55,780	seco	53,563
lluvia	1737,951	lluvia	1600,287	lluvia	1575,994	lluvia	1564,198
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	110,166	seco	81,621	seco	76,967	seco	74,749
lluvia	1649,624	lluvia	1522,899	lluvia	1500,508	lluvia	1489,632
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	43,082	seco	25,656	seco	23,018	seco	21,785
lluvia	1662,649	lluvia	1531,847	lluvia	1508,758	lluvia	1497,546
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	62,641	seco	38,187	seco	34,455	seco	32,707
lluvia	1987,062	lluvia	1829,124	lluvia	1801,257	lluvia	1787,726
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	143,456	seco	105,894	seco	99,777	seco	96,864
lluvia	1972,021	lluvia	1819,064	lluvia	1792,049	lluvia	1778,929
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	44,237	seco	24,029	seco	21,067	seco	19,695
lluvia	1989,284	lluvia	1830,012	lluvia	1801,919	lluvia	1788,279
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	49,308	seco	27,846	seco	24,656	seco	23,174
lluvia	1983,852	lluvia	1827,314	lluvia	1799,687	lluvia	1786,271
4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR	
seco	39,149	seco	16,670	seco	13,654	seco	12,295
lluvia	2129,848	lluvia	1951,185	lluvia	1919,669	lluvia	1904,374

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,428	seco	0,038	seco	0,028	seco	0,120
lluvia	2278,408	lluvia	2085,575	lluvia	2051,643	lluvia	2035,177

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	1,411	seco	0,426	seco	0,070	seco	0,006
lluvia	2322,591	lluvia	2125,090	lluvia	2090,344	lluvia	2073,483

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	13,801	seco	1,921	seco	0,943	seco	0,591
lluvia	2383,879	lluvia	2180,639	lluvia	2144,887	lluvia	2127,539

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,127	seco	0,204	seco	0,673	seco	0,998
lluvia	2492,725	lluvia	2281,701	lluvia	2244,568	lluvia	2226,549

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	0,075	seco	0,260	seco	0,011	seco	0,008
lluvia	2553,185	lluvia	2334,650	lluvia	2296,214	lluvia	2277,564

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	4,738	seco	0,077	seco	0,511	seco	0,860
lluvia	2615,472	lluvia	2390,777	lluvia	2351,264	lluvia	2332,093

<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>	
seco	0,075	seco	0,038	seco	0,011	seco	0,006
lluvia	1649,624	lluvia	1522,899	lluvia	1500,508	lluvia	1489,632

<b>mejor opción de todas</b>		
seco	0,006	kW/km
lluvia	1478,960	kW/km

Condición 3: Factor m superficial = 0.90

Factor m ambiental = 1 para seco. Sin humedad m = 1

Factor m ambiental = 0.25 para lluvia. Sin humedad m = 1

Torre S-59		Torre S-57		Torre S-56		Torre S-55	
3 x 954 ACSR							
seco	174,708	seco	75,002	seco	174,519	seco	167,014
lluvia	1925,116	lluvia	1523,569	lluvia	1924,464	lluvia	1898,467
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	116,619	seco	37,964	seco	116,460	seco	110,225
lluvia	1942,931	lluvia	1532,035	lluvia	1942,264	lluvia	1915,625
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	216,071	seco	89,015	seco	215,827	seco	206,186
lluvia	2028,237	lluvia	1595,840	lluvia	2027,534	lluvia	1999,479
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	228,373	seco	112,815	seco	228,160	seco	219,709
lluvia	1917,758	lluvia	1519,632	lluvia	1917,112	lluvia	1891,349
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	133,173	seco	47,978	seco	133,005	seco	126,374
lluvia	1944,916	lluvia	1532,844	lluvia	1944,247	lluvia	1917,527
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	181,131	seco	66,194	seco	180,904	seco	171,982
lluvia	2326,164	lluvia	1828,892	lluvia	2325,355	lluvia	2293,082
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	293,532	seco	143,193	seco	293,253	seco	282,230
lluvia	2294,193	lluvia	1813,909	lluvia	2293,414	lluvia	2262,308
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	151,598	seco	48,221	seco	151,390	seco	143,160
lluvia	2333,156	lluvia	1831,277	lluvia	2332,339	lluvia	2299,747
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	159,998	seco	53,202	seco	159,784	seco	151,350
lluvia	2318,059	lluvia	1825,597	lluvia	2317,259	lluvia	2285,318

4 x 954 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	162,687	seco	37,679	seco	162,420	seco	151,927
lluvia	2508,379	lluvia	1950,748	lluvia	2507,468	lluvia	2471,135

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	39,790	seco	0,004	seco	39,662	seco	34,731
lluvia	2702,320	lluvia	2096,044	lluvia	2701,338	lluvia	2662,145

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	67,978	seco	2,343	seco	67,802	seco	60,968
lluvia	2751,678	lluvia	2132,636	lluvia	2750,674	lluvia	2710,600

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	117,704	seco	14,096	seco	117,460	seco	107,918
lluvia	2817,618	lluvia	2184,296	lluvia	2816,587	lluvia	2775,454

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	21,584	seco	0,164	seco	21,489	seco	17,834
lluvia	2958,316	lluvia	2296,350	lluvia	2957,246	lluvia	2914,562

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	52,600	seco	0,032	seco	52,437	seco	46,133
lluvia	3029,304	lluvia	2345,012	lluvia	3028,198	lluvia	2984,090

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	96,018	seco	5,377	seco	95,786	seco	86,725
lluvia	3096,340	lluvia	2397,127	lluvia	3095,206	lluvia	3049,979

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	21,584	seco	0,004	seco	21,489	seco	17,834
lluvia	1917,758	lluvia	1519,632	lluvia	1917,112	lluvia	1891,349

Torre S-54		Torre S-53		Torre A-52		Torre S-51 o A-51	
3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR	
seco	113,970	seco	84,356	seco	79,529	seco	77,230
lluvia	1698,200	lluvia	1568,539	lluvia	1545,623	lluvia	1534,492
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	67,391	seco	44,804	seco	41,253	seco	39,578
lluvia	1710,577	lluvia	1577,988	lluvia	1554,569	lluvia	1543,195
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	138,348	seco	100,802	seco	94,714	seco	91,818
lluvia	1783,629	lluvia	1644,157	lluvia	1619,532	lluvia	1607,573
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	159,003	seco	124,077	seco	118,282	seco	115,509
lluvia	1692,827	lluvia	1564,240	lluvia	1541,509	lluvia	1530,467
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	80,364	seco	55,597	seco	51,651	seco	49,781
lluvia	1711,876	lluvia	1578,919	lluvia	1555,438	lluvia	1544,033
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	109,984	seco	76,513	seco	71,170	seco	68,638
lluvia	2044,818	lluvia	1884,442	lluvia	1856,130	lluvia	1842,381
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	203,162	seco	157,795	seco	150,280	seco	146,685
lluvia	2022,735	lluvia	1867,677	lluvia	1840,277	lluvia	1826,968
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	86,756	seco	57,153	seco	52,514	seco	50,326
lluvia	2049,118	lluvia	1887,307	lluvia	1858,749	lluvia	1844,882
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	93,291	seco	62,544	seco	57,697	seco	55,407
lluvia	2039,519	lluvia	1880,645	lluvia	1852,590	lluvia	1838,965
4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR	
seco	82,025	seco	47,557	seco	42,387	seco	39,978
lluvia	2192,277	lluvia	2012,789	lluvia	1981,160	lluvia	1965,807

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	7,515	seco	0,443	seco	0,087	seco	0,013
lluvia	2360,169	lluvia	2163,850	lluvia	2129,279	lluvia	2112,500

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	20,130	seco	5,277	seco	3,637	seco	2,948
lluvia	2402,756	lluvia	2201,969	lluvia	2166,618	lluvia	2149,461

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	47,342	seco	20,845	seco	17,246	seco	15,618
lluvia	2459,897	lluvia	2255,514	lluvia	2219,201	lluvia	2201,578

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	1,021	seco	0,109	seco	0,002	seco	0,051
lluvia	2585,738	lluvia	2370,641	lluvia	2332,763	lluvia	2314,379

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	10,832	seco	0,971	seco	0,330	seco	0,140
lluvia	2644,050	lluvia	2421,751	lluvia	2382,622	lluvia	2363,633

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	31,504	seco	10,070	seco	7,499	seco	6,385
lluvia	2703,020	lluvia	2475,884	lluvia	2435,725	lluvia	2416,237

<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>	
seco	1,021	seco	0,109	seco	0,002	seco	0,013
lluvia	1692,827	lluvia	1564,240	lluvia	1541,509	lluvia	1530,467

<b>mejor opción de todas</b>	
seco	0,002 kW/km
lluvia	1519,632 kW/km

Condición 4: Factor m superficial = 1

Factor m ambiental = 1 para seco. Con humedad m = 0.8

Factor m ambiental = 0.25 para lluvia. Con humedad m = 0.8

Torre S-59		Torre S-57		Torre S-56		Torre S-55	
3 x 954 ACSR							
seco	315,936	seco	173,407	seco	315,680	seco	305,492
lluvia	2022,414	lluvia	1609,297	lluvia	2021,746	lluvia	1995,055
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	247,754	seco	122,149	seco	247,521	seco	238,332
lluvia	2049,371	lluvia	1625,707	lluvia	2048,685	lluvia	2021,280
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	368,914	seco	194,928	seco	368,598	seco	356,057
lluvia	2127,135	lluvia	1684,049	lluvia	2126,416	lluvia	2097,734
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	374,846	seco	219,723	seco	374,571	seco	363,648
lluvia	2011,921	lluvia	1602,630	lluvia	2011,258	lluvia	1984,826
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	267,795	seco	136,911	seco	267,555	seco	258,053
lluvia	2052,570	lluvia	1627,568	lluvia	2051,881	lluvia	2024,386
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	346,327	seco	175,994	seco	346,014	seco	333,632
lluvia	2452,049	lluvia	1940,237	lluvia	2451,219	lluvia	2418,081
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	470,537	seco	272,381	seco	470,184	seco	456,190
lluvia	2404,353	lluvia	1911,536	lluvia	2403,555	lluvia	2371,704
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	311,325	seco	150,188	seco	311,026	seco	299,183
lluvia	2463,705	lluvia	1946,678	lluvia	2462,866	lluvia	2429,372
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	321,417	seco	157,556	seco	321,114	seco	309,111
lluvia	2439,267	lluvia	1932,868	lluvia	2438,446	lluvia	2405,676

4 x 954 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	334,720	seco	138,599	seco	334,344	seco	319,478
lluvia	2643,266	lluvia	2071,926	lluvia	2642,336	lluvia	2605,215

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	171,101	seco	45,301	seco	170,838	seco	160,504
lluvia	2870,631	lluvia	2249,963	lluvia	2869,620	lluvia	2829,293

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	219,107	seco	66,347	seco	218,796	seco	206,530
lluvia	2915,822	lluvia	2283,124	lluvia	2914,791	lluvia	2873,667

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	292,999	seco	102,458	seco	292,621	seco	277,709
lluvia	2976,109	lluvia	2328,880	lluvia	2975,054	lluvia	2932,976

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	144,593	seco	30,583	seco	144,346	seco	134,639
lluvia	3145,839	lluvia	2468,570	lluvia	3144,736	lluvia	3100,750

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	205,686	seco	53,670	seco	205,368	seco	192,850
lluvia	3210,854	lluvia	2514,267	lluvia	3209,720	lluvia	3164,444

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	275,731	seco	85,169	seco	275,344	seco	260,095
lluvia	3272,156	lluvia	2560,249	lluvia	3270,996	lluvia	3224,711

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	144,593	seco	30,583	seco	144,346	seco	134,639
lluvia	2011,921	lluvia	1602,630	lluvia	2011,258	lluvia	1984,826

Torre S-54		Torre S-53		Torre A-52		Torre S-51 o A-51	
3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR	
seco	231,357	seco	187,701	seco	180,361	seco	176,838
lluvia	1789,196	lluvia	1655,661	lluvia	1632,038	lluvia	1620,561
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	172,337	seco	134,383	seco	128,088	seco	125,075
lluvia	1810,060	lluvia	1673,197	lluvia	1648,998	lluvia	1637,243
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	265,230	seco	212,197	seco	203,323	seco	199,067
lluvia	1876,762	lluvia	1733,678	lluvia	1708,388	lluvia	1696,103
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	283,483	seco	235,564	seco	227,440	seco	223,533
lluvia	1780,908	lluvia	1648,583	lluvia	1625,170	lluvia	1613,794
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	189,516	seco	149,786	seco	143,166	seco	139,994
lluvia	1812,485	lluvia	1675,201	lluvia	1650,929	lluvia	1639,139
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	244,387	seco	192,722	seco	184,119	seco	179,999
lluvia	2162,813	lluvia	1997,552	lluvia	1968,345	lluvia	1954,158
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	353,659	seco	292,546	seco	282,202	seco	277,229
lluvia	2126,096	lluvia	1966,825	lluvia	1938,654	lluvia	1924,968
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	214,349	seco	165,791	seco	157,758	seco	153,918
lluvia	2171,446	lluvia	2004,545	lluvia	1975,056	lluvia	1960,733
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	222,969	seco	173,492	seco	165,290	seco	161,367
lluvia	2153,165	lluvia	1989,608	lluvia	1960,696	lluvia	1946,650
4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR	
seco	214,811	seco	156,819	seco	147,410	seco	142,933
lluvia	2319,840	lluvia	2135,678	lluvia	2103,183	lluvia	2087,405

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	90,867	seco	55,627	seco	50,240	seco	47,717
lluvia	2519,276	lluvia	2319,217	lluvia	2283,917	lluvia	2266,777

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	122,852	seco	79,366	seco	72,596	seco	69,409
lluvia	2557,594	lluvia	2353,694	lluvia	2317,723	lluvia	2300,257

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	174,551	seco	119,359	seco	110,600	seco	106,455
lluvia	2609,614	lluvia	2401,054	lluvia	2364,265	lluvia	2346,402

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	70,463	seco	39,360	seco	34,755	seco	32,617
lluvia	2762,523	lluvia	2544,173	lluvia	2505,639	lluvia	2486,927

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	108,607	seco	66,096	seco	59,612	seco	56,576
lluvia	2816,457	lluvia	2591,965	lluvia	2552,361	lluvia	2533,131

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	155,877	seco	101,501	seco	93,012	seco	89,013
lluvia	2869,029	lluvia	2639,632	lluvia	2599,168	lluvia	2579,522

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	70,463	seco	39,360	seco	34,755	seco	32,617
lluvia	1780,908	lluvia	1648,583	lluvia	1625,170	lluvia	1613,794

<b>mejor opción de todas</b>	
seco	30,583 kW/km
lluvia	1602,630 kW/km

Condición 5: Factor  $m$  superficial = 0.95

Factor  $m$  ambiental = 1 para seco. Con humedad  $m = 0.8$

Factor  $m$  ambiental = 0.25 para lluvia. Con humedad  $m = 0.8$

Torre S-59		Torre S-57		Torre S-56		Torre S-55	
3 x 954 ACSR							
seco	384,056	seco	224,149	seco	383,772	seco	372,501
lluvia	2062,005	lluvia	1644,246	lluvia	2061,330	lluvia	2034,361
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	313,880	seco	169,217	seco	313,618	seco	303,236
lluvia	2092,742	lluvia	1663,953	lluvia	2092,048	lluvia	2064,336
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	441,431	seco	248,769	seco	441,086	seco	427,397
lluvia	2167,354	lluvia	1719,996	lluvia	2166,629	lluvia	2137,696
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	443,545	seco	272,373	seco	443,245	seco	431,324
lluvia	2050,218	lluvia	1636,447	lluvia	2049,549	lluvia	2022,848
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	334,678	seco	185,249	seco	334,409	seco	323,748
lluvia	2096,443	lluvia	1666,253	lluvia	2095,747	lluvia	2067,941
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	427,266	seco	234,653	seco	426,919	seco	413,153
lluvia	2503,332	lluvia	1985,696	lluvia	2502,493	lluvia	2469,009
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	552,978	seco	335,587	seco	552,596	seco	537,413
lluvia	2449,140	lluvia	1951,303	lluvia	2448,335	lluvia	2416,186
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	391,136	seco	206,771	seco	390,801	seco	377,513
lluvia	2516,920	lluvia	1993,826	lluvia	2516,072	lluvia	2482,218
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	401,591	seco	214,780	seco	401,252	seco	387,822
lluvia	2488,615	lluvia	1976,635	lluvia	2487,786	lluvia	2454,685

4 x 954 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	420,723	seco	196,746	seco	420,304	seco	403,736
lluvia	2698,211	lluvia	2121,419	lluvia	2697,273	lluvia	2659,839

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	249,312	seco	89,251	seco	248,996	seco	236,523
lluvia	2939,379	lluvia	2311,028	lluvia	2938,357	lluvia	2897,576

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	303,639	seco	116,451	seco	303,274	seco	288,875
lluvia	2982,811	lluvia	2342,948	lluvia	2981,770	lluvia	2940,228

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	385,118	seco	160,510	seco	384,688	seco	367,685
lluvia	3040,720	lluvia	2386,969	lluvia	3039,656	lluvia	2997,203

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	224,287	seco	71,894	seco	223,979	seco	211,864
lluvia	3222,461	lluvia	2536,415	lluvia	3221,346	lluvia	3176,839

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	295,064	seco	103,736	seco	294,685	seco	279,726
lluvia	3284,954	lluvia	2580,407	lluvia	3283,808	lluvia	3238,067

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	373,557	seco	143,824	seco	373,110	seco	355,451
lluvia	3343,842	lluvia	2624,648	lluvia	3342,671	lluvia	3295,967

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	224,287	seco	71,894	seco	223,979	seco	211,864
lluvia	2050,218	lluvia	1636,447	lluvia	2049,549	lluvia	2022,848

Torre S-54		Torre S-53		Torre A-52		Torre S-51 o A-51	
3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR	
seco	289,828	seco	240,459	seco	232,094	seco	228,071
lluvia	1826,259	lluvia	1691,169	lluvia	1667,263	lluvia	1655,646
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	227,862	seco	183,654	seco	176,238	seco	172,680
lluvia	1850,641	lluvia	1712,061	lluvia	1687,549	lluvia	1675,640
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	327,443	seco	268,231	seco	258,242	seco	253,444
lluvia	1914,679	lluvia	1770,150	lluvia	1744,595	lluvia	1732,179
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	343,282	seco	290,080	seco	281,008	seco	276,637
lluvia	1816,766	lluvia	1682,941	lluvia	1659,254	lluvia	1647,744
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	246,089	seco	200,269	seco	192,558	seco	188,855
lluvia	1853,534	lluvia	1714,511	lluvia	1689,923	lluvia	1677,977
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	312,974	seco	253,973	seco	244,053	seco	239,290
lluvia	2210,937	lluvia	2043,718	lluvia	2014,153	lluvia	1999,790
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	425,463	seco	358,001	seco	346,514	seco	340,983
lluvia	2168,161	lluvia	2007,203	lluvia	1978,722	lluvia	1964,884
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	281,273	seco	225,072	seco	215,667	seco	211,158
lluvia	2221,370	lluvia	2052,430	lluvia	2022,567	lluvia	2008,061
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	290,413	seco	233,383	seco	223,825	seco	219,241
lluvia	2199,486	lluvia	2034,053	lluvia	2004,796	lluvia	1990,583
4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR	
seco	285,485	seco	218,252	seco	207,174	seco	201,882
lluvia	2371,876	lluvia	2185,853	lluvia	2153,014	lluvia	2137,066

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	150,035	seco	103,540	seco	96,138	seco	92,633
lluvia	2583,872	lluvia	2381,221	lluvia	2345,446	lluvia	2328,072

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	188,314	seco	133,481	seco	124,672	seco	120,491
lluvia	2620,730	lluvia	2414,402	lluvia	2377,984	lluvia	2360,298

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	247,882	seco	181,413	seco	170,620	seco	165,483
lluvia	2670,739	lluvia	2459,957	lluvia	2422,756	lluvia	2404,691

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	128,769	seco	85,090	seco	78,237	seco	75,004
lluvia	2834,389	lluvia	2613,086	lluvia	2574,011	lluvia	2555,034

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	176,188	seco	120,732	seco	111,924	seco	107,756
lluvia	2886,273	lluvia	2659,086	lluvia	2618,985	lluvia	2599,511

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	232,075	seco	164,746	seco	153,925	seco	148,788
lluvia	2936,817	lluvia	2704,940	lluvia	2664,016	lluvia	2644,144

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	128,769	seco	85,090	seco	78,237	seco	75,004
lluvia	1816,766	lluvia	1682,941	lluvia	1659,254	lluvia	1647,744

<b>mejor opción de todas</b>	
seco	71,894 kW/km
lluvia	1636,447 kW/km

Condición 6: Factor  $m$  superficial = 0.90

Factor  $m$  ambiental = 1 para seco. Con humedad  $m = 0.8$

Factor  $m$  ambiental = 0.25 para lluvia. Con humedad  $m = 0.8$

Torre S-59		Torre S-57		Torre S-56		Torre S-55	
3 x 954 ACSR							
seco	458,821	seco	281,395	seco	458,510	seco	446,149
lluvia	2101,980	lluvia	1679,569	lluvia	2101,298	lluvia	2074,050
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	387,819	seco	223,938	seco	387,528	seco	375,947
lluvia	2136,567	lluvia	1702,645	lluvia	2135,865	lluvia	2107,846
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	520,451	seco	309,168	seco	520,077	seco	505,246
lluvia	2207,949	lluvia	1756,324	lluvia	2207,218	lluvia	2178,035
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	518,021	seco	330,672	seco	517,696	seco	504,772
lluvia	2088,876	lluvia	1670,617	lluvia	2088,200	lluvia	2061,231
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	409,008	seco	240,881	seco	408,710	seco	396,885
lluvia	2140,781	lluvia	1705,392	lluvia	2140,077	lluvia	2111,959
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	516,697	seco	301,735	seco	516,315	seco	501,165
lluvia	2555,145	lluvia	2031,682	lluvia	2554,298	lluvia	2520,468
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	642,071	seco	405,381	seco	641,659	seco	625,287
lluvia	2494,341	lluvia	1991,480	lluvia	2493,528	lluvia	2461,082
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	480,045	seco	272,380	seco	479,673	seco	464,940
lluvia	2570,703	lluvia	2041,538	lluvia	2569,846	lluvia	2535,632
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	490,683	seco	280,851	seco	490,308	seco	475,451
lluvia	2538,457	lluvia	2020,891	lluvia	2537,620	lluvia	2504,187

4 x 954 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	516,549	seco	265,052	seco	516,088	seco	497,844
lluvia	2753,720	lluvia	2171,497	lluvia	2752,774	lluvia	2715,029

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	342,200	seco	147,961	seco	341,831	seco	327,233
lluvia	3008,940	lluvia	2372,910	lluvia	3007,907	lluvia	2966,674

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	401,930	seco	180,558	seco	401,513	seco	385,003
lluvia	3050,561	lluvia	2403,546	lluvia	3049,509	lluvia	3007,551

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	489,810	seco	231,537	seco	489,328	seco	470,266
lluvia	3106,024	lluvia	2445,773	lluvia	3104,951	lluvia	3062,125

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	321,403	seco	130,597	seco	321,036	seco	306,520
lluvia	3300,005	lluvia	2605,180	lluvia	3298,877	lluvia	3253,851

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	400,524	seco	170,150	seco	400,085	seco	382,710
lluvia	3359,899	lluvia	2647,406	lluvia	3358,741	lluvia	3312,537

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	486,208	seco	217,757	seco	485,702	seco	465,668
lluvia	3416,304	lluvia	2689,848	lluvia	3415,123	lluvia	3368,001

<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>		<b>mejor opción</b>	
seco	321,403	seco	130,597	seco	321,036	seco	306,520
lluvia	2088,876	lluvia	1670,617	lluvia	2088,200	lluvia	2061,231

Torre S-54		Torre S-53		Torre A-52		Torre S-51 o A-51	
3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR		3 x 954 ACSR	
seco	354,879	seco	299,742	seco	290,342	seco	285,813
lluvia	1863,702	lluvia	1727,054	lluvia	1702,863	lluvia	1691,108
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	291,130	seco	240,604	seco	232,055	seco	227,944
lluvia	1891,671	lluvia	1751,372	lluvia	1726,546	lluvia	1714,483
3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR		3 x 1113 ACSR	
seco	396,205	seco	330,823	seco	319,720	seco	314,378
lluvia	1952,975	lluvia	1807,002	lluvia	1781,181	lluvia	1768,635
3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR		3 x 950 ACAR	
seco	408,800	seco	350,265	seco	340,234	seco	335,396
lluvia	1852,981	lluvia	1717,653	lluvia	1693,691	lluvia	1682,047
3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR		3 x 1200 ACAR	
seco	310,040	seco	258,072	seco	249,256	seco	245,016
lluvia	1895,041	lluvia	1754,277	lluvia	1729,371	lluvia	1717,269
4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR		4 x 750 ACAR	
seco	390,035	seco	323,663	seco	312,417	seco	307,008
lluvia	2259,591	lluvia	2090,413	lluvia	2060,488	lluvia	2045,950
4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR		4 x 600 ACAR	
seco	503,898	seco	430,058	seco	417,421	seco	411,329
lluvia	2210,638	lluvia	2047,990	lluvia	2019,200	lluvia	2005,210
4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR		4 x 800 ACAR	
seco	357,276	seco	293,396	seco	282,611	seco	277,429
lluvia	2271,861	lluvia	2100,880	lluvia	2070,643	lluvia	2055,953
4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR		4 x 636 ACSR	
seco	366,757	seco	302,138	seco	291,216	seco	285,967
lluvia	2246,300	lluvia	2078,988	lluvia	2049,387	lluvia	2035,005
4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR		4 x 954 ACSR	
seco	366,192	seco	289,816	seco	277,083	seco	270,983
lluvia	2424,488	lluvia	2236,611	lluvia	2203,427	lluvia	2187,310

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	223,962	seco	166,219	seco	156,799	seco	152,310
lluvia	2649,286	lluvia	2444,044	lluvia	2407,792	lluvia	2390,185

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	267,704	seco	201,584	seco	190,744	seco	185,572
lluvia	2684,635	lluvia	2475,883	lluvia	2439,017	lluvia	2421,113

5 x 636 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	334,040	seco	256,409	seco	243,599	seco	237,478
lluvia	2732,571	lluvia	2519,573	lluvia	2481,961	lluvia	2463,694

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	204,522	seco	148,232	seco	139,121	seco	134,789
lluvia	2907,179	lluvia	2682,921	lluvia	2643,303	lluvia	2624,061

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	260,037	seco	191,702	seco	180,578	seco	175,280
lluvia	2956,944	lluvia	2727,065	lluvia	2686,468	lluvia	2666,751

6 x 477 ACSR							
--------------	--	--------------	--	--------------	--	--------------	--

seco	323,385	seco	243,234	seco	230,098	seco	223,832
lluvia	3005,397	lluvia	2771,045	lluvia	2729,663	lluvia	2709,566

mejor opción		mejor opción		mejor opción		mejor opción	
seco	204,522	seco	148,232	seco	139,121	seco	134,789
lluvia	1852,981	lluvia	1717,653	lluvia	1693,691	lluvia	1682,047

<b>mejor opción de todas</b>	
seco	130,597
lluvia	1670,617

## ANEXO 7.

### COSTOS DE PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA A 4000 msnm EN LA ESTRUCTURA S-57

Costo de energía (USD/kWh)	0,0469
Costo de potencia (USD/kW-mes)	5,70
Periodo (años)	45
Tasa de actualización (pu)	0,075

Valor presente	$(1+i)^n$	25,905
Numerador	$(1+i)^{n-1}$	24,905
Denominador	$i*(1+i)^n$	1,943
Num/Den		12,819

ANÁLISIS	3 x 954 ACSR				3 x 1113 ACSR			
	separación de 45.7 cm				separación de 45.7 cm			
	1,52		1,465		1,585		1,64	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	-23,972	8,361	-11,446	3,937	-34,467	12,404	-39,599	14,890
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	-6843,687		-3291,919		-9672,621		-10832,262	
Pérdidas Energía kWh / año	-208771,523		-95041,471		-321423,254		-397158,093	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	-125512,124		-57138,334		-193237,635		-238768,943	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	-132355,811	-60430,252	-202910,256	-249601,205
-------------------------------------	-------------	------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	3 x 1113 ACSR				3 x 950 ACAR	
	separación de 120 cm				separación de 45.7 cm	
	1,585		1,64		1,424	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	-1,728	76,209	-17,127	79,671	0,000	0,000
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	32651,952		27419,184		0,000	
Pérdidas Energía kWh / año	383432,805		253634,315		0,000	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	230517,386		152483,352		0,000	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	263169,338	179902,536	0,000
-------------------------------------	------------	------------	-------

ANÁLISIS	3 x 1200 ACAR				4 x 750 ACAR	
	separación de 45.7 cm				separación de 45.7 cm	
	1,601		1,6035		1,266	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	-36,319	13,212	-36,581	13,332	-32,180	309,260
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	-10129,754		-10192,403		121471,074	
Pérdidas Energía kWh / año	-345355,060		-348955,131		1307185,466	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	-207625,286		-209789,626		785871,666	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	-217755,040	-219982,029	907342,740
-------------------------------------	-------------	-------------	------------

ANÁLISIS	4 x 600 ACAR				4 x 800 ACAR	
	separación de 45.7 cm				separación de 45.7 cm	
	1,1285		1,1315		1,307	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	32,393	294,277	30,378	294,730	-38,547	311,646
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	143211,188		142526,511		119725,636	
Pérdidas Energía kWh / año	1748659,394		1737022,600		1215497,896	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	1051283,010		1044287,042		730749,676	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	1194494,198	1186813,553	850475,313
-------------------------------------	-------------	-------------	------------

ANÁLISIS	4 x 636 ACSR							
	separación de 45.7 cm							
	1,225		1,255		1,295		1,24	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	-22,138	305,965	-29,843	308,468	-37,069	311,038	-26,232	307,279
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	124429,029		122148,372		120107,222		123210,368	
Pérdidas Energía kWh / año	1418084,694		1335095,273		1240286,307		1375347,869	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	852543,583		802650,865		745652,313		826850,472	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	976972,612	924799,237	865759,534	950060,840
-------------------------------------	------------	------------	------------	------------

ANÁLISIS	4 x 954 ACSR			
	separación de 120 cm			
	1,52		1,465	
	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	-40,960	431,469	-36,007	431,117
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	171197,819		173215,115	
Pérdidas Energía kWh / año	1788972,491		1902938,942	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	1075518,989		1144034,902	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	1246716,808	1317250,017
-------------------------------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	5 x 636 ACSR							
	separación de 45.7 cm							
	1,225		1,255		1,295		1,24	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
Pérdidas Potencia KW - período	-41,214	581,246	-41,214	579,563	-41,214	576,413	-41,214	580,480
Valor Presente Pérdidas Potencia USD	236748,282		236010,821		234629,585		236412,512	
Pérdidas Energía kWh / año	2441947,394		2417433,945		2403407,853		2428221,288	
Valor Presente Pérdidas Energía USD	1468083,386		1453346,056		1444913,657		1459831,338	

Valor Presente Pérdidas Totales USD	1704831,668	1689356,877	1679543,242	1696243,850
-------------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	5 x 636 ACSR							
	separación de 60 cm							
	1,225		1,255		1,295		1,24	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
<b>Pérdidas Potencia KW - período</b>	-37,313	617,317	-41,214	615,884	-41,214	613,004	-34,256	616,681
<b>Valor Presente Pérdidas Potencia USD</b>	254271,848		251933,838		250671,241		255333,130	
<b>Pérdidas Energía kWh / año</b>	2686325,820		2633440,435		2593875,294		2671254,154	
<b>Valor Presente Pérdidas Energía USD</b>	1615002,157		1583207,796		1559421,483		1605941,166	

<b>Valor Presente Pérdidas Totales USD</b>	1869274,005	1835141,634	1810092,724	1861274,296
--	-------------	-------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	5 x 636 ACSR							
	separación de 80 cm							
	1,225		1,255		1,295		1,24	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
<b>Pérdidas Potencia KW - período</b>	-41,048	667,157	-40,437	666,529	-34,385	664,665	-41,158	666,928
<b>Valor Presente Pérdidas Potencia USD</b>	274484,319		274476,606		276312,802		274335,428	
<b>Pérdidas Energía kWh / año</b>	3043400,049		2980792,201		2926362,154		3009813,966	
<b>Valor Presente Pérdidas Energía USD</b>	1829672,933		1792033,489		1759310,488		1809481,192	

<b>Valor Presente Pérdidas Totales USD</b>	2104157,252	2066510,096	2035623,290	2083816,620
--	-------------	-------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	6 x 477 ACSR							
	separación de 30 cm							
	1,035		1,06		1,09		1,12	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
<b>Pérdidas Potencia KW - período</b>	-41,214	783,349	-41,214	782,081	-41,214	779,794	-41,214	776,718
<b>Valor Presente Pérdidas Potencia USD</b>	325349,960		324794,021		323791,165		322442,954	
<b>Pérdidas Energía kWh / año</b>	3499049,270		3467848,684		3440079,003		3418641,576	
<b>Valor Presente Pérdidas Energía USD</b>	2103606,373		2084848,777		2068153,820		2055265,774	

<b>Valor Presente Pérdidas Totales USD</b>	2428956,334	2409642,798	2391944,986	2377708,728
--	-------------	-------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	6 x 477 ACSR							
	separación de 45.7 cm							
	1,035		1,06		1,09		1,12	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
<b>Pérdidas Potencia KW - período</b>	-41,214	833,041	-41,214	831,561	-41,214	828,919	-41,214	825,381
<b>Valor Presente Pérdidas Potencia USD</b>	347134,810		346486,032		345327,641		343776,484	
<b>Pérdidas Energía kWh / año</b>	3813417,412		3769459,510		3732811,680		3685066,726	
<b>Valor Presente Pérdidas Energía USD</b>	2292602,520		2266175,306		2244142,862		2215438,896	

<b>Valor Presente Pérdidas Totales USD</b>	2639737,330	2612661,338	2589470,502	2559215,380
--	-------------	-------------	-------------	-------------

ANÁLISIS	6 x 477 ACSR							
	separación de 60 cm							
	1,035		1,06		1,09		1,12	
	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia	seco	lluvia
<b>Pérdidas Potencia KW - período</b>	-41,214	883,118	-39,429	882,287	-41,214	880,369	-41,214	877,495
<b>Valor Presente Pérdidas Potencia USD</b>	369088,464		369506,702		367883,064		366623,398	
<b>Pérdidas Energía kWh / año</b>	4175618,039		4114023,486		4089846,049		3996719,537	
<b>Valor Presente Pérdidas Energía USD</b>	2510355,255		2473324,997		2458789,674		2402802,602	
<b>Valor Presente Pérdidas Totales USD</b>	2879443,718		2842831,699		2826672,738		2769426,000	