

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN 220/500kV CHILCA-LA PLANICIE

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTADO POR:
HENRY WILLIAM PRADO CHÁVEZ**

**PROMOCIÓN
2005-II**

**LIMA-PERÚ
2013**

**EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR EFECTO
CORONA EN LA LINEA DE TRANSMISIÓN 220/500kV
CHILCA-LA PLANICIE**

Agradezco a mis padres Alberto e Irma por su apoyo y esfuerzo en brindarme una buena educación; así como también a mis hermanos.

SUMARIO

El presente informe de titulación comprende la verificación de las pérdidas del efecto corona en las líneas de transmisión de 220/500kV Chilca-La Planicie que entró en operación en mayo del 2011. Se verificará la configuración doble y cuádruplex de los conductores por fase utilizados para este nivel de voltaje.

El desarrollo del presente informe se ha realizado mediante el Método de Peek que es el más utilizado en el cálculo de pérdidas por efecto corona en líneas de alta tensión. Para este estudio se considerarán varios factores que intervienen en dicho cálculo como el meteorológico, la altitud, la configuración de factores climatológicos.

Por último se analizará el conductor utilizado en dicha línea que es el ACAR 600MCM para la línea de transmisión de 220kV y ACAR 550MCM para la línea de transmisión de 500kV.

ÍNDICE

PROLOGO	1
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Generalidades	3
1.2 Objetivo	4
1.3 Alcance	4
1.4 Justificación	4
CAPITULO II	
MARCO TEORICO	6
2.1 Definición del efecto corona	6
2.2 Manifestación del efecto corona	7
2.2.1 Perturbaciones de la frecuencia de radio y televisión	8
2.2.2 Ruido audible	8
2.2.3 Generación de ozono	9
2.2.4 Pérdidas de energía	10
2.2.5 Viento iónico	11
2.3 Generación corona en conductores eléctricos	11
2.3.1 Procesos favorables a la descarga	11
2.3.2 Procesos desfavorables a la descarga	13
2.3.3 Características de los procesos elementales	13
2.4 Tipos de descarga en los conductores de líneas de transmisión	14
2.4.1 Proceso de corona positiva	14
2.4.2 Proceso de corona negativa	16
2.5 Variables que influyen en el efecto corona	17
2.5.1 Gradiente superficial	17
2.5.2 Estado de superficie del conductor	18
2.5.3 Densidad relativa del aire	19
2.5.4 Efecto del agua en el conductor	20
CAPÍTULO III	
MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA	22

3.1	Introducción	22
3.2	Métodos de coeficiente de potencial	23
3.3	Método de Mart y Mengele	24
3.4	Método de F. W. Peek	27
3.5	Método de Peterson	29
CAPÍTULO IV		
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS		32
4.1	Antecedentes y descripción del proyecto	32
4.2	Características del proyecto	33
4.2.1	Contaminación de la zona	33
4.2.2	Condiciones climáticas	33
4.2.3	Características de la línea de transmisión	34
4.3	Conductor utilizado en el proyecto	35
4.3.1	Conductor tipo ACAR	36
4.3.2	Selección económica del conductor ACAR	37
4.4	Ruta de estudio de la línea de transmisión	37
4.4.1	Tramo 1: L.T. 220 kV Chilca-La Planicie	37
4.4.2	Tramo 1: L.T. 500 kV Chilca-La Planicie	38
4.4.3	Ubicación geográfica y vías de acceso a la línea de transmisión	38
4.4.4	Trazo de la ruta de la línea de transmisión	39
4.4.4.1	Tramo 1: L.T. 220 kV Chilca-La Planicie	39
4.4.4.2	Tramo 1: L.T. 500 kV Chilca-La Planicie	46
4.4.5	Estructuras usadas en la L.T. 220/500 kV	52
CAPÍTULO V		
CÁLCULO DE PÉRDIDAS		54
5.1	Cálculo del gradiente crítico	54
5.2	Cálculo de las pérdidas por efecto corona	54
5.3	Comparación de los resultados	55
5.4	Evaluación de resultados	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		60
ANEXO A	FACTORES QUE VARÍAN EL GRADIENTE CRÍTICO	62
ANEXO B	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS CONDUCTORES	64
ANEXO C	PLANILLA DE ESTRUCTURAS L.T. 220/500 kV	66
ANEXO D	TORRES UTILIZADAS EN LA L.T. 220/500 kV	72
ANEXO E	DISTANCIAS MEDIAS GEOMÉTRICAS DE LA L.T. 220/500 kV	83
ANEXO F	RADIOS GEOMÉTRICOS DE LA L.T. 220/500 kV	85

ANEXO G	CÁLCULO DE PÉRDIDAS	92
ANEXO I	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS	95
BIBLIOGRAFÍA		98

PROLOGO

El propósito de este informe es verificar el efecto corona en la línea de transmisión de 220/500kV que se ha construido en el país, la construcción de esta línea supone un conductor de mayor diámetro esto significa que dicho conductor se remplazará por un haz de conductores obteniéndose más de un conductor por fase.

Para dicho estudio de pérdidas se realizará por métodos estadísticos para el cálculo de la gradiente mediante el método de Peek que es el más utilizado en el cálculo de pérdidas por efecto corona en líneas de extra alta tensión.

Para el estudio de este fenómeno se tendrá en cuenta diversos factores como son estudios meteorológicos, altitudes, configuración de conductores, tipo de estructuras, factores climáticos.

Una vez realizado el cálculo del gradiente crítico se comparará con el voltaje máximo de acuerdo a dicha comparación, se verificará las pérdidas de potencia producida por el efecto corona con el conductor considerado en la construcción de la línea de transmisión para la ruta considerada.

El informe de suficiencia está organizado en cinco capítulos principales:

- Capítulo I "Introducción".- Donde se explican las generalidades, el objetivo, el alcance y la justificación del informe
- Capítulo II "Marco teórico".- Se enfoca a explicar los aspectos más resaltantes del fenómeno. Se desarrollan ítems tales como: Definición del efecto corona, manifestaciones del efecto corona, generación corona en conductores eléctricos, tipos de descarga en conductores de líneas de transmisión, variables que influyen en el efecto corona.
- Capítulo III "Métodos para el cálculo de pérdidas por efecto corona".- Se enfoca en la descripción de los métodos existentes: Método para cálculo de gradiente superficial de un conductor, Método de coeficiente de potencial, Método de Markt y Mengele, Método de F.W. Peek, Método de Peterson.
- Capítulo IV "Marco situacional del caso de estudio".- Que está organizado en los siguientes ítems: Antecedentes y descripción del proyecto, características del proyecto, conductor utilizado, características eléctricas de los haces de conductores eléctricos, ruta de estudio, estructuras usadas.
- Capítulo V "Cálculo de las pérdidas".- En el que se realiza y se muestra el cálculo del

gradiente crítico, cálculo de las pérdidas por el efecto corona y la evaluación de resultados con la tensión máxima de la línea.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente informe.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Las líneas de transmisión en el país juegan un papel importante en el desarrollo del país, la línea de transmisión en estudio permite reforzar el enlace del sistema eléctrico nacional así mismo transportará la energía que se produce en el polo energético de Chilca para alimentar el Sistema Interconectado Nacional atendiendo especialmente el norte del país, así mismo permitirá descongestionar el abastecimiento, garantizando que la electricidad llegue constantemente.

En este capítulo se explican las generalidades del informe de suficiencia, es decir lo relacionado al fenómeno del efecto corona y de las pérdidas involucradas. Así mismo se precisa el objetivo, alcance y la justificación del informe.

1.1 Generalidades

Las líneas de transmisión de alta y extra alta tensión tienen como una de sus características principales la provocación de pérdidas, es por eso que sus diseños se deben 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 puede realizar aumentando el diámetro de los mismos, esto se 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 220/500kV, siempre se utilizaron 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 Objetivo

Verificar el efecto corona en la línea de transmisión de 220/500kV Chilca-La Planicie, de acuerdo a la configuración de conductores adoptados y se confirme las variables que influyen en el voltaje crítico según la ecuación de Peek.

1.3 Alcance

En el presente informe se detalla la configuración de conductores utilizados en el nivel de voltaje de 220/500kV que se construyó en el país, de tal manera, verificar si dicha configuración presenta menos pérdidas por el efecto corona, dependiendo de condiciones climáticas y altura sobre el nivel del mar donde se construyó la línea de transmisión.

Se analizan los factores dentro de las condiciones antes mencionadas como son: en la condición de clima, se analiza en estado seco, y humedad; en la condición de altura sobre el nivel del mar.

Para el presente informe la línea de transmisión se construyó a una altura comprendida entre los 0 m.s.n.m. y los 650 m.s.n.m.

1.4 Justificación

Como se sabe 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 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 II MARCO TEORICO

Este capítulo se enfoca a explicar los aspectos más resaltantes del fenómeno. Se desarrollan ítems tales como: Definición, manifestaciones del efecto corona, generación corona en conductores eléctricos, tipos de descarga en conductores de líneas de transmisión, variables que influyen en el efecto corona.

2.1 Definición del efecto corona

El efecto corona es una manifestación muy característica en sistemas de alta y muy alta tensión. Se llaman descargas por efecto 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.

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 la 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,

umentando 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 la aparición del efecto corona. Otras fuentes de irregularidades incluyen las gotas de agua, nieve, la niebla, y la humedad.

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: Cuanto 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 superiores a 80kV.
- Humedad relativa del aire: Cuando exista una mayor humedad, especialmente en caso de lluvia o niebla, incrementa de forma importante el efecto corona.
- Estado de la superficie del conductor: La presencia de 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.

Como consecuencia del efecto corona se produce una emisión de energía acústica y energía electromagnética en el rango de las radiofrecuencias, de forma que los conductores pueden generar ruido e interferencia en la radio y la televisión, otra consecuencia es la producción de ozono y óxido de nitrógeno.

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.

El efecto corona es un fenómeno ampliamente conocido y no representa ningún peligro para la salud. En este sentido, la Organización Mundial de la Salud declara en una nota descriptiva publicada en noviembre de 1998 manifestando lo siguiente "Ninguno de estos efectos es suficientemente importante para afectar la salud" refiriéndose al efecto corona.

2.2 Manifestaciones del efecto corona

Las manifestaciones derivadas de este fenómeno son:

- Perturbaciones de la frecuencia de radio y televisión.

- Ruido audible.
- Generación de ozono.
- Pérdidas de energía.
- Viento iónico.

2.2.1 Perturbaciones de la frecuencia de radio y televisión

Durante la operación nominal de las líneas de transmisión de alta tensión se producen emisiones electromagnéticas en un amplio rango de frecuencia. Estas emisiones pueden interferir con el funcionamiento normal de algunos dispositivos electromagnéticos ubicados o localizados en la cercanía de las líneas, además provocan un impacto físico y biológico en el ambiente.

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

Sin embargo, las emisiones electromagnéticas a altas frecuencias se deben principalmente a las descargas producidas por efecto corona. Este efecto produce emisiones electromagnéticas primordialmente a frecuencias por debajo de los 3MHz e interfiere, entre otros dispositivos, con la recepción de radio en Amplitud Modulada (AM) en la banda de 0.535 a 1.605 MHz. Es por ello que las emisiones electromagnéticas debidas al efecto corona suelen llamarse o definirse como "radio interferencia".

El efecto corona se origina generalmente en puntos distribuidos a lo largo de los conductores de una línea de transmisión. Cuando se tiene buen clima (templado sin lluvia), solo se generan unas cuantas fuentes de efecto corona separadas por largas distancias. Sin embargo, bajo malas condiciones climáticas (lluvia, nieve) aparece una mayor cantidad de fuentes de corona localizadas a pocas distancias entre sí. Además la intensidad de las descargas por efecto corona es generalmente mayor.

Las perturbaciones a frecuencia de radio se caracterizan por tres parámetros que son:

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

2.2.2. Ruido audible

El ruido provocado por el efecto corona consiste en un zumbido de baja frecuencia (básicamente de 100Hz), provocado por el movimiento de los iones, y un chisporroteo producido por las descargas eléctricas (entre 0,4 y 16 Hz). Son ruidos de pequeña intensidad que en muchos casos apenas son perceptibles, únicamente cuando el efecto corona sea elevado se percibirán en la proximidad inmediata de las líneas de muy alta

tensión, disminuyendo rápidamente al aumentar la distancia a la línea.

Fuera de ser un efecto que puede causar cierta impresión, principalmente a quien desconoce su origen, es relativamente despreciable en sistemas bajo 400kV, con conductores bien diseñados, la percepción del efecto es mayor en condiciones de llovizna o neblina, aun cuando su intensidad máxima es bajo lluvia fuerte.

Cuando la humedad relativa es elevada, por ejemplo cuando llueve el efecto corona aumenta mucho, dando lugar a un incremento importante del ruido audible. Sin embargo este ruido generalmente queda opacado por el producido por las gotas de la lluvia golpeando el suelo, tejados, etc., que provoca un nivel acústico superior.

En condiciones de niebla también aumenta el efecto corona y el ruido audible, pero la existencia de esta freno de propagación de ruido, es decir, se oye más al lado de la línea pero se deja de percibir a mayor distancia.

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

A continuación se muestran los valores límite recomendados por la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud) expresados como nivel de presión acústica equivalente (L_{ed}) con ponderación A para distintos ambientes:

Tabla 2.1 Valores límite de exposición recomendado por la O.M.S.

TIPO DE AMBIENTE	PERIODO	L_{ed} Db (A)
Laboral	9 horas	75
Doméstico, auditorio, aula	-	45
Dormitorio	Noche	35
Exterior diurno	Día	55
Exterior nocturno	Noche	45

A partir de estos datos se puede deducir que el ruido originado por el funcionamiento de la línea de transmisión es similar al valor del ruido que existe en medios residenciales y rurales.

2.2.3 Generación de ozono

Con respecto a la producción de ozono y óxidos de nitrógeno, el efecto corona al ionizar el aire circundante, genera unas cantidades insignificantes de ozono; y en mucha mayor medida, razón por la cual suele olvidarse, el óxido de nitrógeno, un contaminante atmosférico producido principalmente por hornos de altas temperaturas (industrias, centrales térmicas, etc.)

El ozono es un elemento compuesto por tres átomos de oxígeno y que está presente de forma natural en la atmósfera, pues procede de la denominada “capa de ozono”, situada entre los 21-26 km de altura de la superficie terrestre la cual nos protege de las radiaciones ultravioletas nocivas del sol.

Pero a baja atmosfera es altamente oxidante, también se genera ozono como consecuencia de la acción del sol sobre los óxidos de nitrógeno por lo que su concentración puede llegar a ser elevada en ciudades y zonas industrializadas, así mismo diversos aparatos de uso cotidiano como las fotocopiadoras, también generan ozono.

En condiciones de laboratorio se ha determinado que la producción de ozono en una línea de alta tensión oscila entre 0,5 y 5g por kW/h disipado en efecto corona, dependiendo de las condiciones meteorológicas.

Aún en el caso más desfavorable, esta producción de ozono es insignificante, y además se disipa en la atmósfera inmediatamente después de crearse, por lo que su impacto sobre la atmósfera se considera nulo.

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.

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.

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.

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.

El ozono producido por líneas de transmisión puede ser detectado, pero los óxidos de 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.

2.2.4 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.

2.2.5 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.

2.3 Generación corona en conductores eléctricos

La descarga 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.

Este fenómeno va acompañado de un efluvio luminoso del cual proviene su nombre. Además, se producen pérdidas de energía, un zumbido fácilmente perceptible y ruido sobre señales de radio y televisión en las cercanías de la zona donde se localiza el fenómeno corona.

También se produce ozono y en presencia de humedad, ácido nitroso, el cual trae como consecuencia la corrosión de los conductores cuando el fenómeno es intenso.

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

- Procesos favorables a la descarga:
- Procesos desfavorables a la descarga
- Características de los procesos elementales

2.3.1 Procesos favorables a la descarga

Son la Foto-ionización y la ionización por choque.

a. Foto-ionización

Dado por la siguiente expresión:



Donde:

- A: Átomo neutro del gas.
- e^- : Carga del electrón.
- A^+ : Ión positivo.

El bombardeo fotónico sobre los átomos de un gas con 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.

b. 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. El proceso se puede esquematizar como:



Donde:

- A: Átomo neutro del gas.
- e^- : Carga del electrón.

- A^+ : Ión positivo

- 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:



Donde:

- A: Átomo neutro del gas.

- e^- : Carga del electrón.

- A^+ : Ión positivo

2.3.2 Procesos desfavorables a la descarga

Son los siguientes: Recombinación y enlace con molécula neutra

a. 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:



Donde:

- A: Átomo neutro del gas.

- e^- : Carga del electrón.

- A^+ : Ión positivo.

b. 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:



Donde:

- A: Átomo neutro del gas.

- e^- : Carga del electrón.

- A^- : 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.

2.3.3 Características de los procesos elementales

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 de 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 se está más cerca del nivel de ionización.

Otra característica importante de los procesos favorables a la descarga es que en ellos actúan principalmente electrones. Los iones, por su gran masa y dimensiones, tienen muy baja movilidad, por lo que la probabilidad de ionizar por choque de iones es bajísima. Para efectos de estudio, los iones pueden ser considerados inmóviles con respecto a los electrones.

2.4 Tipos de descarga en los conductores de líneas de transmisión

Siempre existe un cierto número de pares ión electrón libre en el aire, usualmente 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.

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.

2.4.1 Proceso de corona positiva

El proceso de ionización para corona positiva, se entiende y describe bien en la Figura 2.1.

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 neutras del gas en la región de ionización dan lugar a los electrones que se rompen libremente de las moléculas neutras del aire. Este proceso crea los electrones libres e iones positivos que alternadamente son acelerados por las fuerzas de Coulomb.

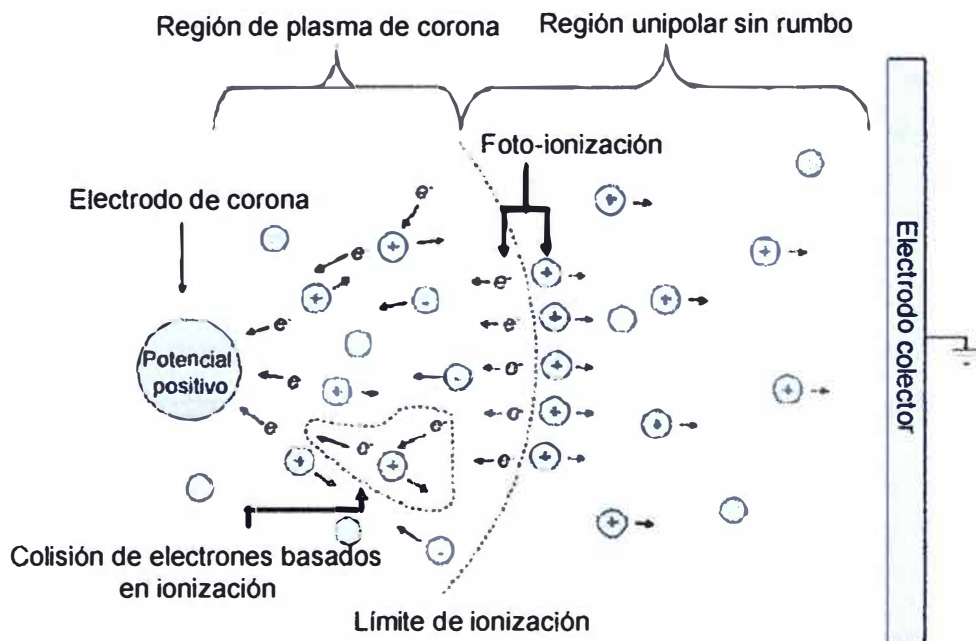


Figura 2.1 Descarga de corona positiva

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.

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 neutrales 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

El proceso de la ionización para una corona negativa, se ilustra en la Figura 2.2.

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.

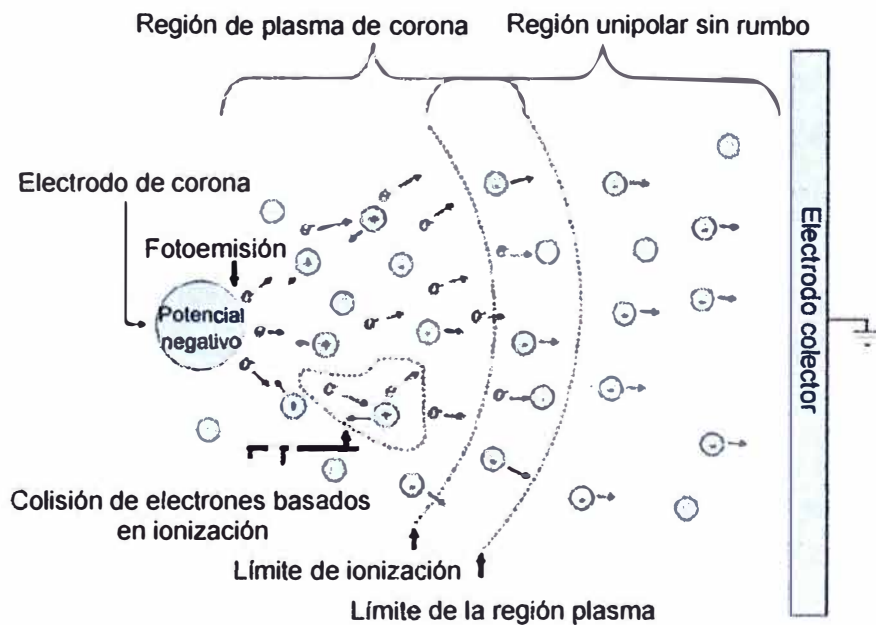


Figura 2.2 Descarga de corona negativa

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.

Semejante al caso de la corona positiva, los electrones se propulsan fuera de la región de ionización, donde bombardean otras moléculas neutrales 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 excedente 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 pulsos intermitentes, 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 neutrales del aire produce iones negativos.

2.5 Variables que influyen en el efecto corona

La aparición e intensidad de las descargas corona es afectada por los siguientes factores

- Gradiente superficial.
- Estado de superficie del conductor.
- Densidad relativa del aire.
- Efecto del agua en el conductor.

2.5.1 Gradiente superficial

El efecto corona se presenta cuando un potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor, el gradiente superficial 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.

La descripción de los procesos anteriores evidencia el importante papel que juega en este fenómeno el valor de la intensidad del campo en la superficie del conductor.

Se sabe con anterioridad que en un campo eléctrico uniforme es necesario un gradiente superficial de $29.8 \text{ kV}_{\text{punta}}/\text{cm}$, bajo condiciones normales de temperatura y presión (25°C y 760 mm de Hg), para causar la ionización del aire.

Sin embargo, un gradiente de exactamente esta magnitud en la superficie del conductor no será suficiente para producir efecto corona, debido a que los iones no tienen oportunidad de acumularse en cantidad suficiente para producir la descarga corona, a menos que el gradiente crítico sea excedido hasta una distancia considerable desde el conductor y puedan de esta forma producir la avalancha.

Se denomina gradiente crítico visual o gradiente de iniciación al gradiente superficial necesario para alcanzar el umbral corona en el gas que rodea un conductor cilíndrico liso alcanza el nivel E_c en la superficie del conductor, esto significa que en una determinada distancia de dicha superficie se ha alcanzado el nivel de ruptura necesario para desencadenar el proceso de descargas y el inicio de las manifestaciones luminosas. F. W. Peek provee una fórmula para determinar el campo superficial crítico de un conductor cilíndrico, E_c en $\text{kV}_{\text{punta}}/\text{cm}$.

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

Dónde:

- E_c : Gradiente superficial crítico en $\text{kV}_{\text{rms}}/\text{cm}$
- E_p : Es el campo superficial en condiciones normales, $E_p = 21.21 \text{ kV}_{\text{rms}}/\text{cm}$
- K : Es una constante, $K = 0.308$
- r : Radio de conductor en cm.
- δ : Densidad relativa del aire
- m : factor determinado por la geometría de los hilos que arreglan al conductor y condiciones atmosféricas

El valor teórico del gradiente crítico definido por la ley de Peek puede diferir del gradiente crítico efectivo o real por efecto del estado de la superficie del conductor.

2.5.2 Estado de superficie del conductor

Los cálculos de gradiente superficial en la superficie de conductores de líneas de

transmisión se hacen frecuentemente considerando conductores cilíndricos, de superficie lisa y perfectamente pulida, del mismo diámetro exterior que el conductor real.

Debido a las ralladuras, melladuras y otros daños que pueden existir sobre la superficie de los conductores cableados, el gradiente efectivo o real es algo mayor que el calculado y por lo tanto, cada conductor real tendrá un gradiente crítico visual un poco menor por el conocido efecto de concentración de cargas y por consiguiente de mayores gradientes, que se producen en puntos o aristas existentes en conductores cargados; de allí que en las líneas 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, para el gradiente crítico, el cual se estima por:

Tabla 2.2 Factores de corrección

Factor "m_c" superficial	
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
Factor "m_t" ambiental	
1	Seco
0.8	Húmedo
0.16 - 0.25	Lluvia

El factor total "m" total se lo puede calcular mediante:

$$m = m_c \cdot m_t \quad (2.7)$$

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 momento de cambiar la polaridad del conductor se reinicia la ionización por choque.

En el anexo A se presentan los factores que hacen variar el gradiente crítico.

2.5.3 Densidad relativa del aire

Se explican dos conceptos: Densidad del aire y humedad.

a. Densidad del aire

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

La fórmula de Peek es válida en condiciones normales de laboratorio. 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 del aire aumenta con la presión y disminuye con la temperatura. La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) da la siguiente expresión para δ , la densidad relativa del aire:

$$\delta = \frac{0.3921.P}{273+T} \quad (2.8)$$

Dónde:

- 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.

$$P = 76.10^{-\frac{y}{18336}} \quad (2.9)$$

Dónde:

- y : Altura sobre el nivel del mar

La temperatura del aire puede determinarse como:

$$T = 25 - \frac{y}{200} \quad (2.10)$$

b. 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.

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
- Segunda, la humedad más alta crea una mayor concentración de vapor de agua en el conductor y crea más puntos corona realizando las pérdidas.

2.5.4 Efecto del agua en el conductor

El agua, en la forma de lluvia o llovizna, después de un corto período es capaz de formar una película en torno al conductor. Sin embargo, debido al efecto de la gravedad, en la parte inferior del conductor se acumulan gotas de agua, las cuales pasan a constituir discontinuidades en la superficie del conductor, que 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 sobre tales variables se hace a través del coeficiente de superficie "m".

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:

$$E \geq 0.447 \cdot \sqrt{\frac{S}{r}} \quad (2.11)$$

Dónde:

- 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.

CAPÍTULO III

MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR EFECTO CORONA

Este capítulo se enfoca en la descripción de los métodos existentes: Introducción al cálculo de pérdidas por efecto corona, Método de coeficiente de potencial, Método de Markt y Mengers, Método de F.W. Peek, Método de Peterson.

3.1 Introducción

Las pérdidas por efecto corona ocurren en las líneas de transmisión cuando el gradiente de voltaje cerca del conductor excede el gradiente potencial del aire.

Esto se basa en que los iones y electrones del aire han sido generados por radiación cósmica o radioactiva se ven expuestos a la acción del campo eléctrico del conductor energizado.

La determinación de pérdidas eléctricas producidas por el efecto corona principalmente en épocas de lluvia es de especial interés para cuantificar los costos durante la operación de la línea.

Los resultados abarcan grandes cantidades de datos estadísticos como función de la geometría del conductor, se ha observado que las pérdidas por efecto corona fluctúan de algunos kilovatios por kilómetro por fase en buen tiempo a cientos de kilovatios por kilómetro en tiempos de nieve o lluvia.

Las pérdidas de energía en una línea de transmisión son debidas al efecto Joule y al efecto corona la cual están ligadas al voltaje y a la corriente, estas pérdidas se reducen cuando se aumenta el diámetro del conductor, lo que implica el aumento de la sección del conductor, en este caso no se puede reducir las pérdidas y reducir el costo de la línea, en este caso las pérdidas están ligadas a la sección del conductor.

La importancia del efecto corona radica principalmente en el diseño de la línea de transmisión y en la eficiencia de transporte de energía, el efecto corona origina pérdidas de energía y si alcanza cierta importancia produce corrosión en los conductores a causa del ácido formado, la actividad de descarga eléctrica y corona en líneas de energía eléctrica pueden indicar componentes defectuosos que estén muy cerca de la falla y salida de servicio y también resulta las quejas de los ruidos de audio e interferencia de radio.

El medio atmosférico desempeña un papel importante en la producción de corona en las

líneas de transmisión, los depósitos ambientales como contaminación junto con la humedad y la lluvia pueden distorsionar el campo eléctrico.

Las pérdidas por efecto corona son pequeñas en buen tiempo (ambiente seco) y pueden alcanzar valores elevados en mal tiempo (lluvia, nieve), es evidente que una buena evaluación de estas pérdidas requiere conocimiento de las condiciones meteorológicas de las regiones por donde la línea de transmisión atraviesa.

3.2 Método de coeficiente de potencial

Este método 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.

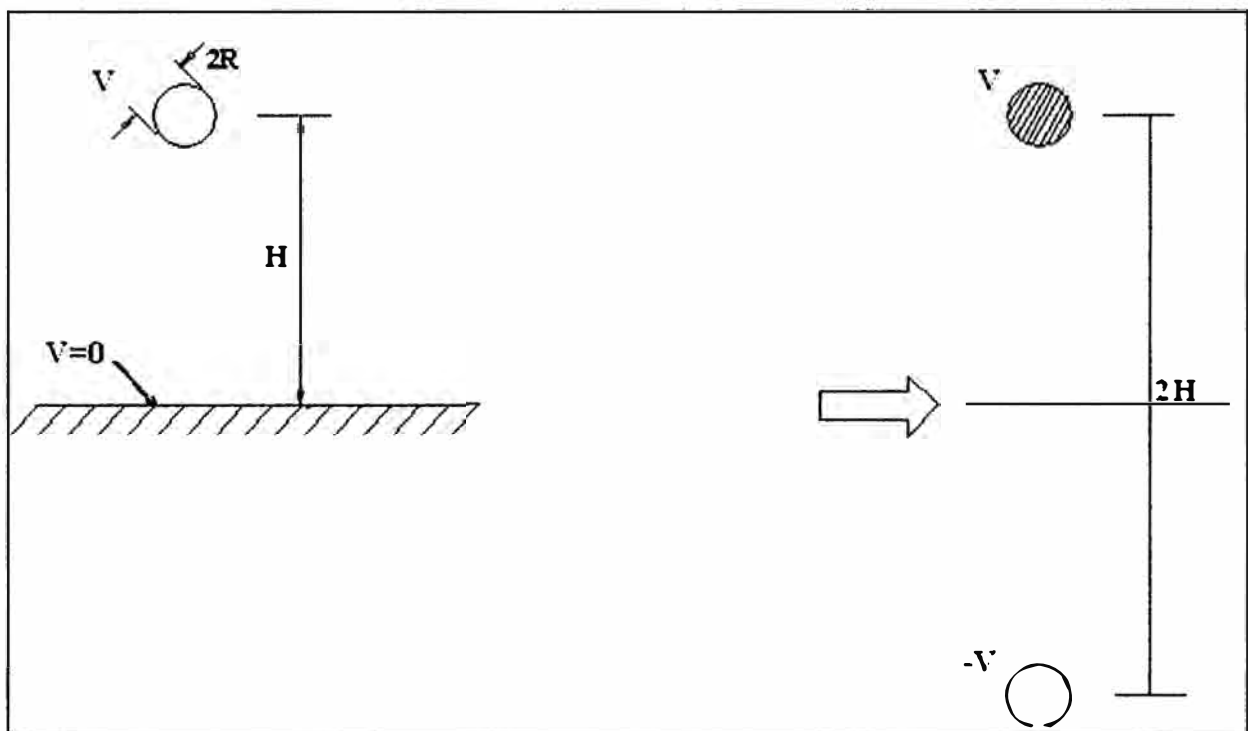


Fig. 3.1 Imagen para simular plano de tierra

La distribución de carga de un conductor y de su imagen pueden ser exactamente representadas por líneas de carga, cuya posición, si la razón entre la 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:

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

Donde:

- V : Potencial del conductor.
- R : Radio del conductor.
- H : Altura media del conductor

Basado en el principio básico, se puede determinar el campo eléctrico en configuraciones de multiconductores 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 define los coeficientes de potencial propio del conductor "i" (p_{ii}) y mutuo entre conductores "i" y "j" (p_{ij}) como:

$$p_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2H_i}{R_i} \quad (3.2)$$

$$p_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{D'_{ij}}{D_{ij}} \quad (3.3)$$

Donde las distancias medias geométricas D_{ij} y D'_{ij} quedan definidas en la Figura 3.2

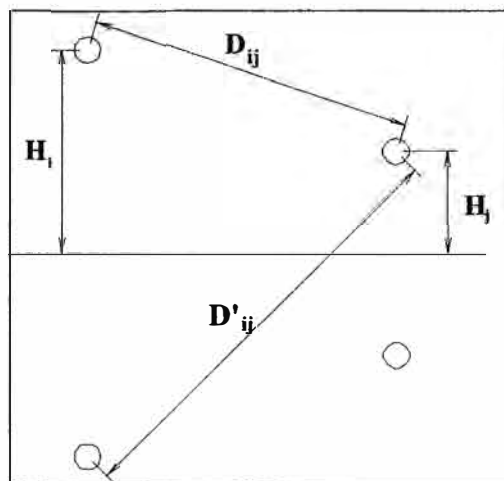


Figura 3.2 Distancias geométricas entre múltiples conductores

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

$$V_i = p_{i1}q_1 + \dots + p_{ij}q_j + \dots + p_{iN}q_N \quad i = 1, 2, 3 \dots N \quad (3.4)$$

Este conjunto de ecuaciones puede expresarse como:

$$V = [P] Q \quad (3.5)$$

Con lo que se llega a:

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

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

$$E_{mi} = q_i / (2\pi\epsilon_0 R_i) \quad (3.7)$$

Estas ecuaciones son para un conductor simple, para el caso de conductor en haz, se propone utilizar el radio del conductor equivalente a igual capacidad y el radio medio del conductor, para el caso de conductor en hebras.

3.3 Método de Markt y Mengele

Este método para el cálculo de gradiente superficial, es aplicable a líneas con conductores en haz, su aplicación se divide en tres etapas:

3.3.1 Primera Etapa

Esta primera consiste en remplazar 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 centro 0 y radio A como se muestra en la Figura 3.3

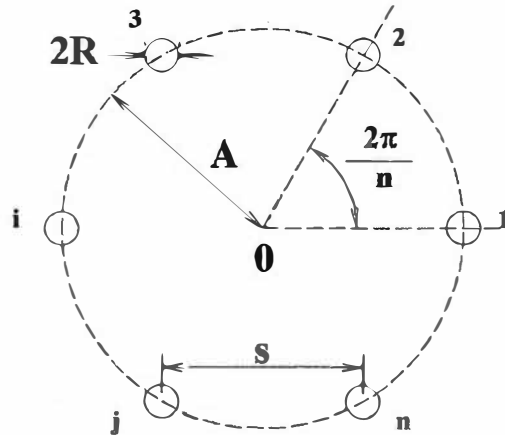


Figura 3.3 Distribución geométrica de conductores en haz

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

Donde:

- n: Número de subconductores.
- R: Radio del círculo de los subconductores en cm.
- S: Separación de los subconductores en cm.

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

$$r_{eq} = \sqrt[n]{n \cdot r_0 \cdot R^{n-1}} \quad (3.9)$$

Donde:

- r_{eq} : Radio de conductor equivalente de igual capacidad.
- r_0 : Radio del subconductor en cm.

3.3.2 Segunda Etapa

En esta etapa se utiliza el método de coeficientes de potencial para calcular la carga total de cada uno de los conductores equivalentes con los valores de potencial adecuados para las diferentes fases o polos, utilizando el radio equivalente de igual capacidad del conductor ficticio.

$$E_{(\alpha)} = E_{sub} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot (n-1) \cdot r_0}{S} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \cdot \cos(\alpha) \right] \quad (3.10)$$

Donde:

- α : Ángulo que determina la posición del campo en un punto.
- E_{sub} : Voltaje promedio del gradiente en la superficie del subconductor en kVp/cm

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

$$E_{\text{sub}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U}{n \cdot r_0 \cdot \ln\left(\frac{D}{r_{\text{eq}}}\right)} \quad (3.11)$$

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 α a cero en $E_{(\alpha)}$, es decir, después de sustituir E_{sub} en $E_{(\alpha)}$, el gradiente máximo será.

$$E_{\text{max}} = E_{\text{sub}} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot (n-1) \cdot r_0}{S} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \right] \quad (3.12)$$

3.3.3 Tercera Etapa

Conocida la magnitud de la carga total del haz, se calcula el gradiente superficial promedio:

$$E_m = \frac{Q_t}{2\pi\epsilon_0 nR} \quad (3.13)$$

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:

$$E_M = E_m \left[1 + \frac{R}{A} \right] \quad (3.14)$$

La Figura 3.4 muestra la variación del campo en conductor cableado para el caso de conductores hecho con hebras.

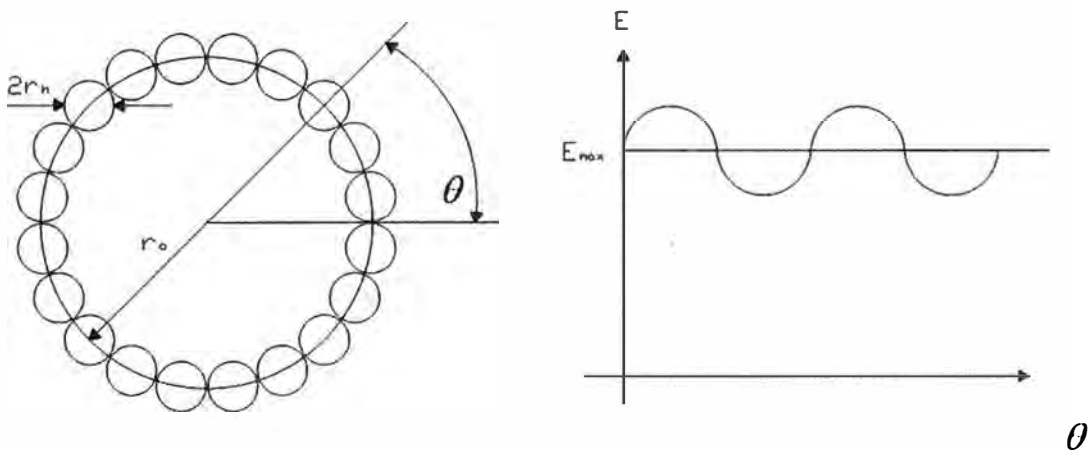


Fig. 3.4 Variación del campo en conductor cableado

Para este caso existe una expresión en función del gradiente superficial promedio, ecuación (3.15) y del ángulo sobre la periferia del conductor debido a la no uniformidad del gradiente de voltaje en está, la expresión está dada por:

$$E_{(\theta)} = E_m \left[1 + \frac{r_h}{R} \cos \theta \right] \quad (3.15)$$

Donde:

- r_h : Radio de la hebra
- R : Radio medio del conductor

De esto resulta como campo superficial máximo:

$$E_{\max} = E_m \left[1 + \frac{R_h}{R} \right] \quad (3.16)$$

Para el cálculo de efecto corona se utilizan métodos que se diferencian del tipo de conductor de la línea y las condiciones atmosféricas.

En los procesos elementales que intervienen en el efecto corona en las líneas de transmisión, se libera energía, que se manifiesta en forma de calor, luminosidad, radiaciones electromagnéticas, generación de productos químicos (ozono), ruido que produce interferencias en un amplio rango de frecuencias e incluso vibraciones mecánicas. Toda esta energía que se trasmite constituye las pérdidas coronas.

La pérdidas corona para condiciones climáticas de buen tiempo es insignificante en conductores bien dimensionados, no obstante está pérdida siempre está presente y representa cierta cantidad de energía consumida por la línea.

Sin embargo para condiciones de mal tiempo, estas pérdidas pueden ser del orden de cien veces las pérdidas en caso de buen tiempo y puede variar en un factor de diez entre lluvia fuerte y leve.

3.4 Método de F. W. Peek

El fenómeno de efecto corona ha sido estudiado entre otros por F. W. Peek que mediante observaciones empíricas desarrollo fórmulas para el estudio cuantitativo de éste, en el caso de cilindros paralelos, de superficie lisa. Las pérdidas coronas por el método de Peek queda expresado mediante las siguientes formulas.

Para la tensión crítica eficaz tenemos:

$$V_c = \sqrt{3} m_c m_t \delta \epsilon_{ra} \frac{r}{\beta} \ln \frac{D}{r} \quad (3.17)$$

Donde:

- V_c : Tensión critica disruptiva, en kV.
- m_c : Coeficiente de rugosidad del conductor.
- m_t : Coeficiente meteorológico.
- δ : Factor de corrección de la densidad del aire, función de la altura sobre el nivel del mar.
- r : Radio del conductor, en cm.
- β : Factor que corrige el efecto de la disposición de los conductores (dúplex, triplex, cuádruplex)

- D : Distancia media geométrica entre fases, en cm.

- ϵ_{ra} : 21.1 kV/cm

Los valores de m_c y m_t están en la Tabla 2.2

El factor " δ " es directamente proporcional a la presión barométrica, e inversamente a la temperatura absoluta del aire:

$$\delta = \frac{3.921h}{273 + \theta} \quad (3.18)$$

Donde:

- h : Presión barométrica, en centímetros de columna de mercurio.

- θ : Temperatura, en grados centígrados, correspondiente a la altitud del punto que se considere.

Siendo " h " la altitud citada, en metros es igual a:

$$h = 76.10 \frac{y}{18.336} \quad (3.19)$$

Donde:

- y : Altura sobre el nivel del mar en kilómetros.

Si hay un solo conductor por fase, el factor que corrige el efecto de la disposición de los conductores $\beta = 1$, siendo su fórmula:

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

Donde:

- n : Numero de haces de conductores por fase

- R_h : Radio medio entre los conductores que forman el haz.

$$R_h = \frac{S}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \quad (3.21)$$

Donde:

- S : Separación entre los conductores, en cm.

Al calcular la tensión crítica disruptiva se debe considerar lo siguiente:

- Si $V_{max} < V_c$, no existe efecto corona, por consiguiente, no existen pérdidas por efecto corona.

- Si $V_{max} > V_c$, existe el efecto corona, por lo tanto, existen pérdidas debido al efecto corona existente.

Considerando que:

$$V_{max} = 1.15 V_n \quad (3.22)$$

Las pérdidas por efecto corona para cada conductor, se calculan con la siguiente fórmula:

$$P_{PEEK} = \frac{241}{\delta} (f+25) \sqrt{\frac{R}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5} \quad (3.23)$$

Donde las variables usadas son descritas a continuación:

- δ : Densidad relativa del aire
- f : Frecuencia del sistema, en Hz.
- R : Radio del conductor, en cm.
- D : Distancia efectiva entre fases, en cm.
- V : Voltaje efectivo fase neutro, en kV.
- V_d : Voltaje efectivo crítico disruptivo, en kV.

3.5 Método de Peterson

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 (ϕ) que se obtiene de las curvas mostradas en la Figura 3.5.

Finalmente se aplica la ecuación de Peterson para pérdidas corona. Para una mejor aplicación del algoritmo, este se ha subdividido en las siguientes tres etapas:

3.5.1 Primera Etapa

Para el cálculo de e_d existen tres casos importantes, dos de ellos para conductores en hebras:

a. Conductores redondos de superficie lisa y limpia

Se aplica la siguiente ecuación:

$$e_d = 48.6 \delta^{2/3} R \log \left(\frac{D}{R} \right) \quad (3.24)$$

Donde:

- R : Radio del conductor en cm.
- D : Distancia entre fases en cm.
- δ : Densidad relativa del aire.
- e_d : Tensión característica de la línea por fase, en $\text{kV}_{\text{efectivo}}$

b. Para cables de varios hilos, que tienen 12 o más hebras en la capa exterior

Dada por la siguiente ecuación:

$$e_d = 48.6 \text{ m } \delta^{2/3} \frac{\left[\log \frac{D}{cR_h} + (n_h - 1) \log \frac{D}{R - cR_h} \right]}{\frac{1}{cR_h} + \frac{n_h - 1}{2(R - cR_h)}} \quad (3.25)$$

Con:

$$c = 1 - \frac{\sin \left[\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n_h} \right]}{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n_h}} \quad (3.26)$$

Donde:

- n_h : Número de hebras de la capa exterior.
- R_h : Radio hebra capa exterior en cm.
- R : Radio medio del conductores en cm.

c. Para cables que tiene 6 hebras en la capa exterior

Representado por la siguiente expresión:

$$e_d = 35.47 m \bar{\sigma}^{2/3} R (\log(D/R) + 0.067) \quad (3.27)$$

Valores de m propuestos:

- Para condiciones comunes	: 0.87 – 0.90
- Para conductores no lavados	: 0.67 – 0.74
- Para conductores lavados con disolventes de grasas	: 0.912 – 0.93
- Escobillados con una escobilla de alambre	: 0.885
- Pulido	: 1.000
- Conductores arrastrados y sucios con polvo	: 0.72 – 0.75
- Después de 5 meses expuestos a la acción atmosférica	: 0.945
- Sometido a la acción atmosférica, humedad baja de día	: 0.92
- Ídem, pero de noche	: 0.78

3.5.2 Segunda Etapa

Se calcula enseguida la razón V/e_d y se determina, a través del grafico presentado en la Figura 3.5 a y b, el valor del factor ϕ .

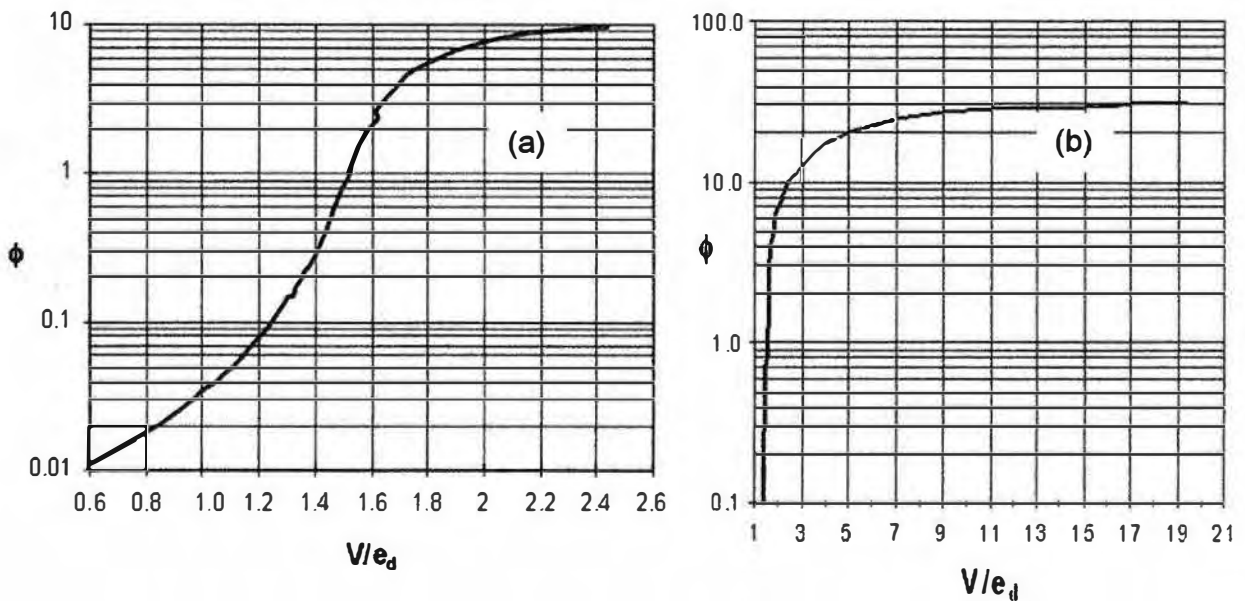


Fig. 3.5 Función de Peterson para cálculo de pérdidas por Efecto Corona con razón V/e_d
(a) entre 0.6 y 2.4, (b) entre 1 y 19

3.5.3 Tercera Etapa

Determinando ϕ , se calcula la pérdida por efecto corona para buen tiempo por la siguiente relación:

$$P_{\text{PETERSON}} = \frac{20.95 \cdot 10^{-6} f V^2}{\left(\log \frac{D}{R}\right)^2} \phi \quad (3.28)$$

- P_{PETERSON} : Potencia de pérdidas por corona, en kW/km/fase.

- f : Frecuencia del sistema, en Hz.
- V : Tensión de servicio en kV_{efectivo}

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

CAPÍTULO IV APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Este capítulo está organizado en los siguientes ítems: Antecedentes y descripción del proyecto, características del proyecto, conductor utilizado, ruta de estudio, estructuras usadas.

El caso de estudio corresponde a las líneas de transmisión Chilca-La Planicie en 500kV y Chilca-La Planicie en 220kV, la cual es la alternativa de expansión para la zona Centro del Perú y que incluyen la construcción de las líneas que se presentan en la Tabla 4.1, según al alcance previsto para dar cumplimiento al contrato de concesión.

Tabla 4.1 Líneas de Transmisión correspondientes a la Zona Centro

Línea	Cantidad de circuitos	Nivel de tensión (kV)	Potencia de diseño MVA	Longitud aprox. (Km)
Chilca-La Planicie	1	500	1700	49.67
Chilca-La Planicie	2	220	Operación a 220kV: 425 (por circuito) Operación a 500kV 1700	49.74

4.1 Antecedentes y descripción del proyecto

Los antecedentes del proyecto son los siguientes

- Mediante Resolución Ministerial N° 552-2006-MEM/DM, del 23 de noviembre del 2006, se aprobó el plan de Transitorio de Transmisión para el periodo 2007-2018, con un portafolio de diversos proyectos de sistemas de transmisión para desarrollarse en el corto plazo, dentro de este portafolio incluía la L.T. Chilca-La Planicie-Zapallal en 220kV o 500kV.
- Mediante oficio N° 132-2007 – EM/DM del 23 de Enero del 2007, el Ministerio de Energía y Minas, en base a lo establecido en el artículo N° 22 de la Ley N° 28832, modificado por la Ley N° 28958, encargo a la Agencia de Promoción de la Inversión Privada del Perú – PROINVERSIÓN conducir los procesos de licitación de la L.T. Chilca-La Planicie-Zapallal.
- Con fecha 9 de enero del 2008, PROINVERSIÓN convoca a concurso público internacional en la modalidad de proyecto integral para otorgar la concesión de la L.T. Chilca-La Planicie-Zapallal.

Las líneas de transmisión ejecutadas corresponden a la alternativa de expansión definida para la zona centro de la República de Perú.

El proyecto se compone de un tramo de línea de 500kV, una línea a 220kV, el tramo de línea a 500kV es de circuito simple con 4 conductores por fase e inicia en la S.E. Chilca y concluye en la estructura T-100 y tiene una longitud de 49.67 km, la línea a 220kV es de doble circuito convertible a 500kV con 2 conductores por fase e inicia en la S.E. Chilca y concluye en la S.E. La Planicie y tiene una longitud de 49.74km.

Las líneas de 500kV y 220kV (convertible a 500kV) en general sus ejes son paralelos con un ancho de servidumbre de 110m. y separación entre ejes de 46m.

En la ruta de las líneas se presentan zonas donde no se conserva el paralelismo y en este caso el ancho de servidumbre es para cada línea de 64m.

La tabla 4.2 muestra las líneas de transmisión ejecutadas en el proyecto

Tabla 4.2 Líneas de Transmisión Ejecutadas

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DEL PROYECTO CENTRO			
Línea	Cantidad de circuitos	Nivel de tensión (kV)	Longitud (Km)
Chilca-La Planicie	1	500	49.67
Chilca-La Planicie	2	220	49.74

4.2 Características del proyecto

En esta sección se describen las condiciones climáticas, la contaminación de la zona y las características de la línea de transmisión.

4.2.1 Contaminación de la zona

La atmosfera de la zona donde se desarrollan las líneas de transmisión del Proyecto Centro presenta alta contaminación, por lo tanto; el diseño del aislamiento garantizara una distancia de fuga mínima de 31 mm/kV, de acuerdo con lo que contempla la norma IEC 60815 para zonas de alta contaminación.

4.2.2 Condiciones climáticas

Los parámetros meteorológicos que interviene en el diseño mecánico y estructural de las líneas de transmisión son la temperatura ambiente y la velocidad del viento.

Estos parámetros meteorológicos fueron definidos en el informe de criterios de Diseño PE-CENT-DILT-100-0001 y se obtienen del Código Nacional de Electricidad Suministro- Parte 2 "Reglas de Seguridad para Instalación y Mantenimiento de Líneas Aéreas de

Suministro Eléctrico y Comunicaciones”–Sección 25 ‘Cargas para grados B y C’, las cuales serán ajustados a la zona del proyecto, tal como se presenta en la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Parámetros Meteorológicos

Parámetros	Unidad	Valor por sector de cota sobre el nivel del mar < 3000 msnm
Temperatura Máxima Promedio	°C	40
Temperatura Promedio (EDS)	°C	20
Viento Máximo	km/h	80
Viento Reducido	km/h	50
Temperatura Coincidente Viento Máximo	°C	15
Temperatura Mínima sin Viento	°C	0
Temperatura Coincidente Viento Reducido	°C	5
Densidad Relativa del Aire	-	0.85
Humedad Relativa del Aire	%	0.8
Nivel Cerámico	Días-tormenta/año	15

4.2.3 Características de la línea de transmisión

En esta subsección se describen las siguientes características con sus respectivas tablas:

- Longitud de recorrido (Tabla 4.4)
- Nivel de aislamiento a 60Hz y BIL corregidos por altura (Tabla 4.5)
- Capacidad de transmisión por circuito (Tabla 4.6)
- Tasa de falla esperada por sobretensiones (número de salidas/100 km-año) (Tabla 4.7)
- Número de Subconductores por Fase, Cable de Guarda y Cable OPGW (Tabla 4.8)
- Tipo, Material y Sección de los Conductores (Tabla 4.9)

Tabla 4.4 Longitud de las líneas de transmisión del proyecto

Tramo de línea	Longitud (km)
L.T. 500kV Chilca-La Planicie	49.67
L.T. 220kV Chilca-La Planicie	49.74

Tabla 4.5 Nivel de aislamiento a 60Hz y BIL corregidos por altura

Tramo de línea	Nivel de aislamiento a 60Hz - kVrms Fase – Tierra	BIL - kVpico Fase - Tierra
L.T. 500kV Chilca-La Planicie	512	1,547
L.T. 220kV Chilca-La Planicie	226	1,178

Tabla 4.6 Capacidad de Transmisión por circuito

Tramo de línea	Cantidad de circuitos	Capacidad (MVA)
L.T. 500kV Chilca-La Planicie	1	1700
L.T. 220kV Chilca-La Planicie	2	425

Tabla 4.7Tasa de Falla Esperada por Sobretensión

Tramo de línea	Cantidad de salidas X 100km-Año
L.T. 500kV Chilca-La Planicie	0,2
L.T. 220kV Chilca-La Planicie	0,2

Tabla 4.8 Número de Subconductores por Fase

Tramo de línea	Sub-conductores por fase	Cable guarda	OPGW
L.T. 500kV Chilca-La Planicie	4	2	-
L.T. 220kV Chilca-La Planicie	2	1	1

Tabla 4.9Tipo, Material y Sección del Conductor de fase

Tramo de línea	Tipo	Material	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)
L.T. 500kV Chilca-La Planicie	ACAR 550 (18/19)	Aluminio/Aleación	21.67	278.54
L.T. 220kV Chilca-La Planicie	ACAR 600 (18/19)	Aluminio/Aleación	22.63	303.74

4.3 Conductor utilizado en el proyecto

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 materiales utilizados en la construcción de líneas deben poseer las tres características principales:

- Presentar baja resistencia eléctrica y en consecuencia bajas pérdidas de Joule.
- Presentar elevada resistencia mecánica para ofrecer una elevada resistencia a los esfuerzos permanentes o accidentales.
- 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 mejor resistencia eléctrica y superiores aptitudes mecánicas el cobre ha dejado

de ser utilizado en las construcciones de líneas de transmisión 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 el precio sensiblemente menor.

Los conductores en base a aluminio utilizados en la construcción de las 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:

- Se utilizan siempre en forma de hilos cableados, debido a que poseen mejor resistencia a las vibraciones que los conductores de un único alambre.
- 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 2mm de diámetro o más para que especialmente en las operaciones de tendido no se presenten daños graves.
- 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.
- 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 produce.
- El aire marino tiene una acción de ataque muy lenta sobre el aluminio, de todos modos numerosas líneas construidas en la cercanía 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.
- La temperatura de fusión del aluminio es 660°C (mientras el cobre funde a 1083°C) por lo tanto los conductores de aluminio son más sensibles a los arcos eléctricos.

4.3.1 Conductores ACAR

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 la correcta elección depende el costo incremental de la energía que la línea transmite.

En la selección del conductor de fase de las líneas de transmisión de 220 kV y 500 kV, se han previsto utilizar material con características adecuadas para las respectivas zona, planteándose para la costa la utilización del conductor ACAR, similar a los conductores

existentes a lo largo de toda costa y que presentan buen comportamiento en el medio ambiente cercano al mar.

Con los calibres que cumplen con la condición previa se determina la selección económica mediante el método del valor presente de flujos de costos totales, cuyos principales componentes son: costo anual de las pérdidas de potencia y energía por efecto Joule, costo anual de las pérdidas por efecto corona y costo directo aproximado de la línea de transmisión para cada conductor analizado.

La línea 220/500kV se desplaza básicamente pegada a la costa, pero evitando pasar por zonas pobladas, agrícolas y de restos arqueológicos.

El material a utilizar en esta línea será de tipo ACAR que se caracteriza por estar compuesto por hilos interiores de aleación de aluminio e hilos exteriores de aluminio.

4.3.2 Selección económica del conductor ACAR

La selección económica del conductor se efectúa mediante el siguiente procedimiento:

- Se calcula los costos totales de construcción de línea para cada sección del conductor (se deben tener presente que a mayor sección, son mayores requerimientos de los soportes y el número de estructuras).
- Se proyectan las pérdidas por efecto Joule, potencia y energía, según las proyecciones de la demanda.
- Se calculan las pérdidas corona, potencia máxima y energía promedio anual.
- Se valorizan de manera aproximada las pérdidas de potencia y energía (Joule y Corona) y se aplican los registros de barra de salida de 220kV.

Para la ejecución del proyecto se utilizaron 2 tipos de conductores, para la L.T. 220kV Chilca-La Planicie se utilizó el conductor ACAR 600MCM, para la L.T. 500kV se empleó el conductor ACAR 550MCM, en el anexo B se detallan las principales características de los conductores utilizados en la construcción de la línea de transmisión.

4.4 Ruta de estudio de la línea de transmisión

Se desarrollan en este capítulo los siguientes aspectos:

- Tramo 1: L.T. 220kV Chilca-La Planicie
- Tramo 1: L.T. 500kV Chilca-La Planicie
- Ubicación geográfica y vías de acceso
- Trazo de ruta
- Estructuras Usadas en la L.T. 220/500kV

4.4.1 Tramo 1: L.T. 220kV Chilca-La Planicie

La construcción de la Línea de Transmisión Chilca-La Planicie se inicia desde la bahía de salida en 220 kV de la subestación 220/500 kV, 600 MVA Chilca, hasta la bahía de llegada en 220kV de la subestación La Planicie, tiene una longitud de 49.74 km (distancia

horizontal).

Para la ejecución de la línea de 220 kV, se utilizó estructuras de acero galvanizado en celosía del tipo delta, para alineamiento o suspensión tipo AG, para retención intermedia tipos B y C y para retención intermedia y terminal tipo D.

Las torres metálicas son de doble terna con disposición de los conductores principales en posición horizontal, un cable de guarda y un cable OPGW en su parte superior que apantallan los conductores de fase de las torres en disposición horizontal.

El conductor utilizado es de aleación de aluminio tipo ACAR 600MCM de 303.74 mm² de sección, el cable de guarda presenta 2 secciones: tipo Dotterel de 141.56 mm² de sección en los primeros 10.88 km y tipo Minorca de 88.84 mm² de sección los 38.86 km restantes, el cable OPGW presenta dos tipos de 150 KA/sec² los primeros 12.82 km y de tipo 90 KA/sec² los 36.92 Km restantes.

Para su aislamiento se utilizó aisladores estándar de vidrio templado siliconado de 160kN para las cadenas de suspensión y de 210kN para las cadenas de anclaje.

4.4.2 Tramo 1: L.T. 500kV Chilca-La Planicie

La construcción del tramo de la Línea de Transmisión Chilca-La Planicie se inicia desde la bahía de salida en 500 kV de la subestación 220/500 kV, 600 MVA Chilca, hasta la estructura T-100 en el distrito de La Planicie, tiene una longitud de 49.67 Km (distancia horizontal).

Para la ejecución de la línea de 500 kV, se utilizó estructuras de acero galvanizado en celosía de tipo delta, para alineamiento o suspensión tipo A y AS, para transposición tipo TR, para retención intermedia tipo BR y C y para retención intermedia y terminal tipo D.

Las torres metálicas son de simple tema con disposición de los conductores principales en posición horizontal, dos cables de guarda en su parte superior que apantallan los conductores de fase de las torres en disposición horizontal.

El conductor utilizado es de aleación de aluminio tipo ACAR 550MCM de 278.54 mm² de sección, el cable de guarda presenta 2 secciones: tipo Dotterel de 141.56 mm² de sección en los primeros 10.42 Km y tipo Minorca de 88.84 mm² de sección los 39.25 Km restantes. Para el aislamiento se utilizó aisladores Standard de vidrio templado siliconado de 160 kN para cadenas de suspensión y de 210 kN para cadenas de anclaje.

4.4.3 Ubicación geográfica y vías de acceso de la línea de transmisión

Las líneas de transmisión en 220 y 500kV del tramo 1 Chilca-La Planicie se encuentran instaladas en el departamento de Lima en las provincias de Lima y Cañete.

El trazo de ruta de la línea pasa por los siguientes distritos: Chilca, San Bartolo, Punta Negra, Punta Hermosa, Lurín, Pachacamac y Cieneguilla, su trazo es paralelo.

La línea de transmisión 220kV Chilca – La Planicie se encuentra entre las siguientes

coordenadas:

- Pórtico S.E. Chilca	:	312434.27 E;	8618033.55 N
- Pórtico S. E. La Planicie	:	299470.28 E;	8663017.88 N

Los niveles de altitud de la línea de transmisión 220kV Chilca-La Planicie se ubican entre los 71.02 msnm (Chilca) a 732.52 msnm (Cieneguilla).

La línea de transmisión 500kV Chilca-La Planicie se encuentran entre las siguientes coordenadas:

- Pórtico S.E. Chilca	:	312497.29 E;	8618096.16 N
- T 100	:	299641.74 E;	8663039.06 N

Los niveles de altitud de la línea de transmisión 500 kV Chilca-La Planicie se ubican entre los 71.54 msnm (Chilca) a 717.85 msnm (Cieneguilla).

Para el acceso a las líneas perteneciente al primer tramo se emplearon las siguientes carreteras asfaltadas:

- Panamericana Sur tramo entre Chilca y Lima.
- Panamericana Antigua tramo entre Lurín y Punta Hermosa.
- Carretera Pachacamac-Manchay-Cieneguilla.
- Carretera Lima-La Molina-Manchay-Cieneguilla.

En el tramo Chilca-Pachacamac existen carreteras afirmadas en buen estado, adicionalmente en la zona del proyecto se construyeron caminos de acceso carrozables y caminos peatonales que fueron de gran ayuda para el transporte de materiales durante el montaje de la línea.

4.4.4 Trazo de ruta de la línea de transmisión

En este ítem se describe el trazo de la ruta de las líneas ejecutadas en el proyecto centro.

4.4.4.1 Tramo 1: L.T. 220kV Chilca-La Planicie

El trazo de ruta de la línea de transmisión de 220kV se desplaza de sur a norte iniciando en la provincia de Cañete y terminando en la provincia de Lima, cruzando los distritos desde la S.E. Chilca hasta la S.E. La Planicie.

En el anexo C se presenta la tabla de torres de la línea de transmisión de 220kV.

Tramo I: De S.E. Chilca al V-03

Este tramo que se inicia en la subestación Chilca como se aprecia en la figura 4.1 el trazo de línea atraviesa antiguos terrenos de cultivos que presentan pendientes homogéneos y de fácil acceso hasta la estructura T-004.

A partir de la estructura T-004 hasta la estructura T-006 la línea pasa por la cima de pequeños cerros donde el terreno está formado por roca fracturada, terreno erizado y arena.

En este tramo no existen modificaciones con respecto a la ubicación de estructuras ni

variación en los ángulos de deflexión de los vértices 1 y 2, respecto del trazo inicial presentado por la supervisión.

El acceso a este tramo es a través de carreteras carrozables que cruzan el predio del Sr. Arturo García Ortiga o los que conducen a la S.E. de Chilca y fue necesaria la construcción de caminos peatonales.



Figura 4.1 Torre ubicada entre S.E. Chilca y V-03

Tramo II: De V-03 al V-05

En este tramo al trazo de la línea atraviesa por el sitio arqueológico de la Chutana, no se realizaron modificaciones respecto al trazo inicial entregado por la supervisión.

El terreno es en su totalidad erizado con presencia de roca fracturada y compacta (T-006, T-007, T-010, T-011) por lo que se emplearon fundaciones tipo pila en la mayoría de estructuras.

El acceso a estas torres fue a través de carreteras afirmadas existentes, adicionalmente se construyeron caminos peatonales respetando el área del sitio arqueológico.

Tramo III: De V-05 al V-06

Este tramo presenta casi en su totalidad un trazo a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas como se aprecia en la figura 4.2.

Existe una fuerte presencia de roca compacta y fracturada, donde el 75% de las excavaciones para fundaciones y puestas a tierra se ejecutó en rocas con el uso de explosivos.

No es posible la habilitación de caminos de acceso carrozables cercano a las torres, por lo que se construyeron caminos peatonales y se utilizaron los accesos carrozables existentes (se mejoró en cuanto a limpieza de duna) en el lugar a los que se accede por el km 57 de la vía Panamericana Nueva pasando por un sector que controla el ejército del Perú y cerca de la empresa BEFESA.

No se realizaron cambios al trazo inicial entregado por supervisión.



Figura 4.2 Torre ubicada entre V-05 y V-06

Tramo IV: De V-06 al V-07

En este tramo el trazo pasa a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con presencia de roca compacta y fracturada excepto del tramo entre las estructuras T-036 a T-038 y T-043 a T-044 donde el terreno es de tipo duna por lo que fue necesario el uso de diseños de cimentación especiales.

El tramo no sufrió modificaciones respecto al trazo inicial entregado por supervisión.

Para el acceso a las estructuras comprendida en el tramo de la estructura T-020 a T-028 se utilizaron caminos carrozables con origen el km 51 de la vía Panamericana nueva, otro acceso carrozable está localizado cerca al km 50 + 300 que sirve como lindero del aeródromo de Libmandy, por este acceso se puede ingresar al tramo de las estructuras T-028 a T-036. Además se habilitaron caminos de acceso carrozables (T-029 a T-034) y se construyeron caminos peatonales.

En el tramo comprendido entre las estructuras T-037 a T-044 se accede por caminos carrozables que tienen origen en la portería No.3 de la empresa Sedapal localizada en el km 51 de la vía Panamericana antigua.

Tramo V: Del V-07 al V-08

En este tramo como se aprecia en la figura 4.3 la línea cruza por terrenos pertenecientes a la Asociación de Agricultores y Ganaderos Pampa Pacta, las estructuras T-046 y T-047 se ubican en la cima de pequeñas montañas y cerros, siendo rocoso el tipo de terreno encontrado se fundaron cimentaciones tipo pila para estas estructuras. En el tramo comprendido entre las estructuras T-048 a T-054 se encuentra una pampa denominada Pampa Pacta que presenta terreno arcilloso por lo que se emplearon cimentaciones tipo zapata.

El acceso al tramo comprendido entre las estructuras T-045 a T-057 se accede por un camino carrozable con origen en la puerta No. 1 de la empresa Sedapal localizada en el km 40 de la vía Panamericana Nueva (km 44,8 Panamericana antigua) ingreso de Punta Hermosa. En este tramo se localizan la mayoría de estructuras en la pampa o zona de Pampa Pacta.

No se realizaron modificaciones respecto del trazo inicial entregado por supervisión.

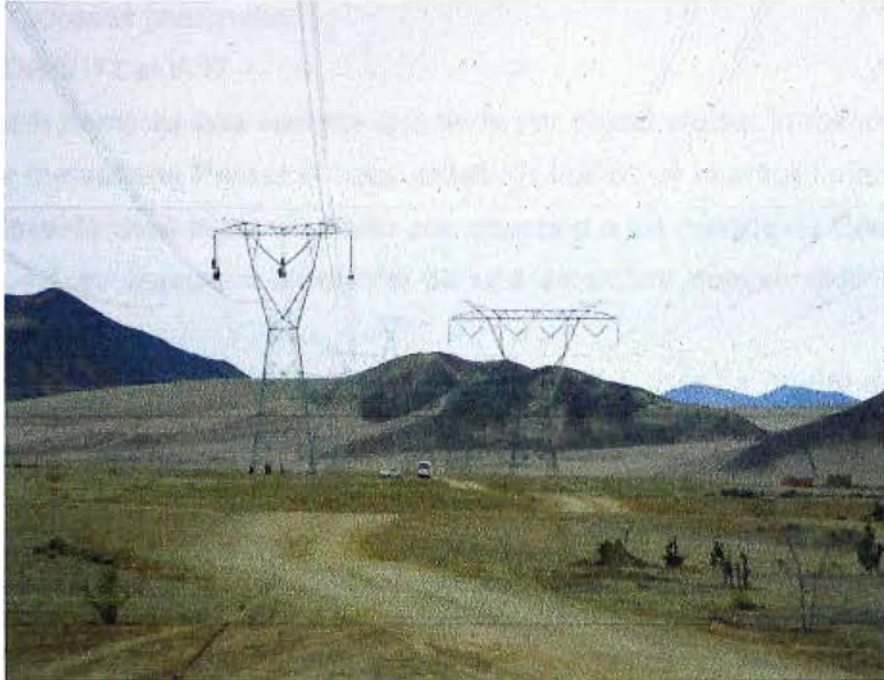


Figura 4.3 Torres ubicadas entre V-07 y V-08

Tramo VI: Del V-08 al V-10

En este tramo el trazo pasa a través de la cima de pequeñas montañas o cerros, el terreno es de tipo rocoso con presencia de vegetación estacional. En este tramo se encuentra ubicado el sitio arqueológico Lomas de Pacta, por lo que durante la ejecución de los trabajos se tuvo especial cuidado en no afectar el sitio arqueológico.

Para el acceso a este grupo de estructuras fue necesaria la construcción de caminos de acceso peatonales debido a la imposibilidad de habilitar accesos carrozables.

Este tramo no tuvo modificaciones respecto al trazo original entregado por supervisión, quedando ubicadas las estructuras en lugares donde no se afecta el sitio arqueológico.

Tramo VII: Del V-10 al V-13

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de la Inmobiliaria Almonte, este tramo también limita con el sitio arqueológico Lomas de Pacta y pasa evitando el área del sitio arqueológico. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el oriente con dirección a las montañas.

El terreno cruza a través de laderas de montañas con terreno rocoso y presencia de vegetación estacional, en este tramo se tiene uno de los vamos más grandes de toda la

línea con 1004 metros de distancia horizontal. En el tramo comprendido entre las estructuras T-058 a T-072 se accede por la vía Panamericana desde el puente Arica hacia la población de Lurín. Con rumbo norte por la vía Panamericana antigua se encuentra el desvío hacia el oriente a la empresa Exsa o a la estación terrena de Lurín por un camino carrozable afirmado que sirve de acceso a la mina San Martín de Cementos Lima, se utilizaron para el acceso caminos carrozables existentes y se construyeron accesos peatonales.

Tramo VIII: Del V-13 al V-17

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de la Inmobiliaria Prinsur el trazo rodea los límites de la propietaria. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el oriente con dirección a los predios de Cementos Lima, en la figura 4.4 se aprecia la ubicación de una estructura comprendida entre dichos vértices.

Debido al trazo este tramo presenta varios vértices (T-065, T-067 y T-068) que se ubican a lo largo de una pampa con terreno erizado, antiguamente utilizado para sembríos, en la mayor parte de estructuras se empleó diseños de cimentación tipo zapata exceptuando la estructura T-066 que tiene cimentación tipo pila.

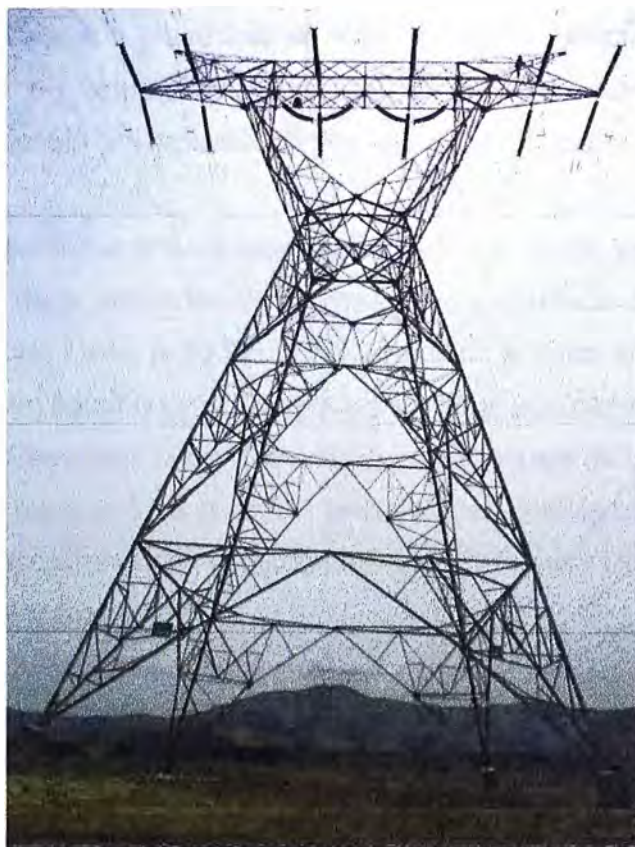


Figura 4.4 Torre ubicada entre V-13 y V-17

Tramo IX: Del V-17 al V-19

En este tramo el trazo pasa a través de laderas de los cerros, el terreno es de tipo rocoso

con presencia de vegetación estacional. En este tramo se encuentra ubicado el sitio arqueológico Amancaes entre los vértices V-18 y V-19, por lo que durante la ejecución de los trabajos se tuvo especial cuidado en no afectar el sitio arqueológico.

En el tramo comprendido entre las estructuras T-073 a T-077 se accede por medio de un camino carrozable que tiene origen en la población de Pachacamac (Panamericana antigua) y luego con sentido oriente se localiza en eje de las líneas. A la altura de la portería de Cementos Lima se accede por senderos a la mayoría de los sitios de torres. En el sector de la comunidad de Cucuya existen caminos carrozables que sirven de acceso a las granjas y a su vez a los sitios de torre. Adicionalmente se construyeron caminos peatonales para el acceso a las torres.

En este tramo no se realizaron modificaciones de ubicación respecto al trazo inicial salvo variaciones en los ángulos de deflexión en los vértices V-17 y V-19.

Tramo X: Del V-19 al V-21

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de Cementos Lima por ser zona de explotación, el trazo rodea los límites de la propietaria. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el occidente.

Este tramo presenta casi en su totalidad un trazo a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con presencia de roca compacta y fracturada también existen zonas con presencia de vegetación estacional, las excavaciones para fundaciones y puestas a tierra se ejecutó por procedimientos manuales y con el uso de explosivos en rocas.

Para el tramo comprendido entre las estructuras T-078 a T-085 se accede por caminos carrozable que parte de la población de Pachacamac y conduce a la zona de Manchay Alto cerca al valle del río Lurín. A 10 km aprox., se ubica la zona arqueológica de Pampa Flores donde existe otro camino carrozable que permite el acercamiento al eje de la línea. La zona pertenece a Cementos Lima. Una vez ubicados en eje de la línea, se accede por medio de senderos a cada uno de ellos. En esta zona es posible adecuar algunos de los caminos carrozables existentes con la autorización de Cementos Lima.

Tramo XI: Del V-21 al V-24

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de Interbank I (T-084 a T-090) e Interbank II (T-090 a T-091), este tramo también limita con el sitio arqueológico Las Golondrinas (T-085) y cercano al sitio arqueológico Pampa Flores, el trazo pasa evitando el área del sitio arqueológico. El replanteo traslado el trazo de línea hacia el oriente con dirección a las montañas.

Este tramo presenta casi en su totalidad un trazo a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con presencia de roca compacta y fracturada, donde el 67% de

las excavaciones para fundaciones y puestas a tierra se ejecutó en rocas con el uso de explosivos, no es posible la habilitación de caminos de acceso carrozables cercano a las torres, por lo que se construyeron caminos peatonales y se utilizaron los accesos carrozables existentes, para el acceso al tramo comprendido entre las estructuras T-086 a T-093-Manchay Alto, se accede por el camino carrozable que tiene origen en la población de Pachacamac y continúa a la población de Cieneguilla.

Tramo XII: Del V-24 al V-28

El total de este tramo como se aprecia en la figura 4.5 es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de la Sra. Rosana Arista, este tramo también limita con un área poblada, el trazo pasa evitando el predio de la Sra. Arista y tratando de afectar lo mínimo a la población de la zona. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el occidente con dirección a Manchay.

Este tramo presenta zonas de cultivo (maíz, papas, verduras, etc.), pasa sobre predios donde fue necesaria la liberación de servidumbre también en este tramo se cruza el río Lurín entre las estructuras T91A y T-92, el terreno tiene pendiente homogénea hasta el cruce con el río Lurín y a partir de ahí el trazo va sobre montañas y laderas.

En este tramo se cruza sobre la L.T. 220 kV San Juan-Pomacocha entre las estructuras T-90 y T91, también se cruza sobre 2 líneas primarias a 10 kV una entre las estructuras T-092 y T-093 y la otra entre las estructuras T-093 y T-094, en este mismo vano se cruza sobre la carretera Pachacamac-Cieneguilla.



Figura 4.5 Torres ubicadas entre V-24 y V-28

Tramo XIII: Del V-28 al V-32

En este tramo se modificó la ubicación de la estructura T-106 por problemas de corte de

terreno en la pata B, por lo que se modificaron los ángulos de los vértices V-31 y V-32. El resto del trazo se mantuvo de acuerdo al trazo inicial entregado por supervisión.

El trazo pasa sobre una cadena de montañas con pendiente pronunciada, el terreno presenta en su mayoría roca fracturada y arenosa.

Este tramo es el de mayor dificultad en cuanto a accesos debido a que las estructuras en su mayoría se encuentran en la cima de las montañas, la ubicación de las estructuras se aprecian en la figura 4.6, se construyeron caminos de acceso peatonales y se utilizaron los caminos y carreteras afirmadas existentes hasta el pie de las torres. Para el tramo comprendido entre las estructuras T-094 a T-101 se ingresa por un camino carrozable que bordea la cadena montañosa y desde el mismo se continúa por senderos. En esta zona se usó los caminos carrozables de los predios cercanos a la ubicación de estructuras.

Para el tramo comprendido entre las estructuras T-102 a T-105 se ingresa por la vía pavimentada que comunica a Cieneguilla con La Molina. Luego desde la vía por medio de senderos se localizan los diferentes sitios de torre. Para el acceso a la estructura T-105 y T-106 se empleó el acceso a la sub estación La Planicie.

En este tramo se cruza entre las estructuras T-102 y T-103 sobre una línea telefónica, la carretera asfaltada la Molina-Cieneguilla y sobre una Línea Primaria a 22.9kV. Cercano a las estructuras T-103 y T104, T-105 y T-106 existen viviendas habitadas.



Figura 4.6 Torre ubicadas entre los V-28 y V-32

4.4.4.2 Tramo 1: L.T. 500kV Chilca – La Planicie

El trazo de ruta de la línea de transmisión de 500kV se desplaza de sur a norte iniciando en la provincia de Cañete y terminando en la provincia de Lima, de la S.E. Chilca distrito del mismo nombre hasta la estructura T-102 en el distrito de Cieneguilla.

En el anexo B se presentan la tabla de torres de la L.T. 500kV.

Tramo I: De S.E. Chilca al V-03

Este tramo que comprende la salida de la sub estación Chilca, en la figura 4.7 se aprecia la estructura ubicada en la S.E. Chilca, atraviesa a través de antiguos terrenos de cultivos, el tramo presenta pendiente homogénea y de fácil acceso hasta la estructura T-005. La estructura T-006 se encuentra en la base de un pequeño cerro donde el terreno está formado por roca fracturada, terreno erizado y arena.

En este tramo no existen modificaciones respecto a la ubicación de estructuras ni variación en los ángulos de deflexión de los vértices 1 y 2 respecto del trazo inicial entregado por supervisión.

El acceso a este tramo es a través de carreteras carrozables que cruzan el predio del Sr. Arturo García Ortiga o los que conducen a la S/E de Chilca.



Figura 4.7 Torre ubicada en la S.E. Chilca

Tramo II: Del V-03 al V-05

En este tramo del trazo de la línea atraviesa por el sitio arqueológico Chutana (T-009, T-010), no se realizaron modificaciones respecto al trazo inicial entregado por supervisión.

El terreno es en su totalidad erizado con presencia de roca fracturada y compacta (T-007, T-008, T-010 y T-011) por lo que se emplearon fundaciones tipo pila en la mayoría de estructuras.

El acceso a estas torres fue a través de carreteras afirmadas existentes adicionalmente se construyeron caminos peatonales respetando el área del sitio arqueológico.

Tramo III: Del V-05 al V-06

Este tramo presenta casi en su totalidad un trazo a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con fuerte presencia de roca compacta y fracturada, donde el 72% de las excavaciones para fundaciones y puestas a tierra se ejecutó en rocas con el uso de explosivos, no es posible la habilitación de caminos de accesos carrozables cercano a las torres, por lo que se construyeron caminos peatonales y se utilizaron los

accesos carrozables existentes en el lugar a los que se accede por el km 57 de la vía Panamericana Nueva pasando por un sector que controla el ejército del Perú y cerca de la empresa BEFESA. No se realizaron cambios al trazo inicial entregado por supervisión.

Tramo IV: Del V-06 al V-07

En este tramo el trazo pasa a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con presencia de roca compacta y fracturada excepto del tramo entre las estructuras T-032 a T-035 y las estructuras T-039, T-040 y T-042 donde el terreno es de tipo duna por lo que fue necesario el uso de diseños de cimentación especiales.

En este tramo se reubico la estructura T-035 para mejorar la ubicación de las patas C y D que se encontraban ubicadas en un terreno inestable formado por dunas. El resto del tramo no sufrió modificaciones respecto al trazo inicial entregado por supervisión.

Para el acceso a las estructuras comprendida en el tramo de la estructura T-020 a T-027 se utilizaron caminos carrozables con origen el km 51 de la vía Panamericana nueva, otro acceso carrozable está localizado cerca al km 50 + 300 que sirve como lindero del aeródromo de Libmandy, por este acceso se puede ingresar al tramo de las estructuras T-027 a T-033. Además se habilitaron caminos de acceso carrozables y se construyeron caminos peatonales.

En el tramo comprendido entre las estructuras T-034 a T-040 se accede por caminos carrozables que tienen origen en la portería No.3 de la empresa Sedapal localizada en el km 51 de la vía Panamericana Antigua.

Tramo V: Del V-07 al V-08

En este tramo se cruza por terrenos pertenecientes a la Asociación de Agricultores y Ganaderos Pampa Pacta, las estructuras T-043 y T-044 se ubican en la cima de pequeñas montañas o cerros y el terreno es rocoso por lo que se emplearon para estas estructuras cimentaciones tipo pila, el tramo entre las estructuras T-045 a T-051 se encuentra en una pampa denominada Pampa Pacta, presenta terreno arcilloso por lo que se emplearon cimentaciones tipo zapata.

El acceso al tramo comprendido entre las estructuras T-041 a T-054 se accede por un camino carrozable con origen en la puerta No. 1 de la empresa Sedapal localizada en el km 40 de la vía Panamericana Nueva (km 44.8 Panamericana antigua) ingreso de Punta Hermosa. En este tramo se localizan la mayoría de estructuras en la pampa o zona de Pampa Pacta. No se realizaron modificaciones respecto del trazo inicial entregado por supervisión.

Tramo VI: Del V-08 al V-10

En este tramo, en la figura 4.8 se aprecia la ubicación de estructuras comprendidos entre dichos vértices, el trazo de la línea pasa a través de la cima de pequeñas montañas o

cerros, el terreno es de tipo rocoso con presencia de vegetación estacional. En este tramo se encuentra ubicado el sitio arqueológico Lomas de Pacta, por lo que durante la ejecución de los trabajos se tuvo especial cuidado en no afectar el sitio arqueológico.

Para el acceso a este grupo de estructuras fue necesaria la construcción de caminos de acceso peatonales debido a la imposibilidad de habilitar accesos de caminos carrozables.

Este tramo no tuvo modificaciones respecto al trazo original entregado por supervisión, quedando ubicadas las estructuras en lugares donde no se afecta el sitio arqueológico.



Figura 4.8 Torres ubicadas entre los V-08 y V-10

Tramo VII: Del V-10 al V-13

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de la Inmobiliaria Almonte, este tramo también limita con el sitio arqueológico Lomas de Pacta y pasa evitando el área del sitio arqueológico. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el oriente con dirección a las montañas.

El terreno cruza a través de laderas de montañas con terreno rocoso y presencia de vegetación estacional.

En el tramo comprendido entre las estructuras T-056 a T-068 se accede por la vía Panamericana desde el puente Arica hacia la población de Lurín. Con rumbo norte por la vía Panamericana Antigua se encuentra el desvío hacia el oriente a la empresa Exsa o a la estación terrena de Lurín por un camino carrozable afirmado que sirve de acceso a la mina San Martín de Cementos Lima, se utilizaron para el acceso caminos carrozables existentes y se construyeron accesos peatonales.

Tramo VIII: Del V-13 al V-16

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de la Inmobiliaria Prinsur el trazo de los límites de la propietaria. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el oriente con dirección a los predios de Cementos Lima.

Las estructuras se ubican a lo largo de una pampa con terreno eriazo, antiguamente utilizado para sembríos, en la mayor parte de estructuras se empleó diseños de cimentación tipo zapata exceptuando la estructura T-062 que tiene cimentación tipo pila.

Tramo IX: Del V-16 al V-19

En este tramo el trazo pasa a través de laderas de los cerros, el terreno es de tipo rocoso con presencia de vegetación estacional. En este tramo se encuentra ubicado el sitio arqueológico Amancaes entre los vértices V-17 y V-18, por lo que durante la ejecución de los trabajos se tuvo especial cuidado en no afectar el sitio arqueológico. En el tramo comprendido entre las estructuras T-069 a T-073 se accede por medio de un camino carrozable que tiene origen en la población de Pachacamac (Panamericana Antigua) y luego con sentido oriente se localiza en eje de las líneas. A la altura de la portería de Cementos Lima se accede por senderos a la mayoría de los sitios de torre. En el sector de la comunidad de Cucuya existen caminos carrozables que sirven de acceso a las granjas y a su vez a los sitios de torre. Adicionalmente se construyeron caminos peatonales para el acceso a las torres.

En este tramo no se realizaron modificaciones de ubicación respecto al trazo inicial salvo variaciones en los ángulos de deflexión en los vértices V-17 y V-19.

Tramo X: Del V-19 al V-21

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de Cementos Lima por ser zona de explotación, el trazo rodea los límites de la propietaria. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el occidente.

Este tramo presenta casi en su totalidad un trazo a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con presencia de roca compacta y fracturada, también existen zonas con presencia de vegetación estacional, las excavaciones para fundaciones y puestas a tierra se ejecutó por procedimientos manuales y con el uso de explosivos en rocas. Para el tramo comprendido entre las estructuras T-074 a T-080 se accede por caminos carrozable que parte de la población de Pachacamac y conduce a la zona de Manchay Alto cerca al valle del río Lurín. A 10 km aprox., se ubica la zona arqueológica de Pampa Flores donde existe otro camino carrozable que permite el acercamiento al eje de la línea (se ejecutó la limpieza de rocas que impiden el desplazamiento de vehículos a T-080). La zona pertenece a Cementos Lima. Una vez ubicados en eje de la línea, se accede por medio de senderos a cada uno de ellos. En esta zona es posible adecuar algunos de los caminos carrozables existentes con la autorización de Cementos Lima.

Tramo XI: Del V-21 al V-24

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de Interbank I (T-078 a T-084) este tramo también limita con el sitio arqueológico

Las Golondrinas (T-081) y cercano al sitio arqueológico Pampa Flores, el trazo pasa evitando el área del sitio arqueológico. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el oriente con dirección a las montañas.

Este tramo presenta casi en su totalidad un trazo a través de laderas escarpadas y quebradas pronunciadas, con presencia de roca compacta y fracturada, donde el 71% de las excavaciones para fundaciones y puestas a tierra se ejecutó en rocas con el uso de explosivos, no es posible la habilitación de caminos de acceso carrozables cercano a las torres, por lo que se construyeron caminos peatonales y se utilizaron los accesos carrozables existentes, para el acceso al tramo comprendido entre las estructuras T-081 a T-085—Manchay Alto, se accede por caminos carrozable que tiene origen en la población de Pachacamac y continúa a la población de Cieneguilla.

Tramo XII: Del V-24 al V-29

El total de este tramo es una variante que tiene por objeto afectar lo menos posible los predios de la Sra. Rosana Arista, este tramo también limita con un área poblada, el trazo pasa evitando el predio de la Sra. Arista y tratando de afectar lo mínimo a la población de la zona. El replanteo trasladó el trazo de línea hacia el occidente con dirección a Manchay. Este tramo presenta zonas de cultivo (maíz, papas, verduras, etc.), pasa sobre predios donde fue necesaria la liberación de servidumbre también en este tramo se cruza el río Lurín entre las estructuras T-086 y T-087, el terreno tiene pendiente homogénea hasta el cruce con el río Lurín y a partir de ahí el trazo va sobre montañas y laderas.

En este tramo se cruza sobre la L.T. 220kV San Juan-Pomacocha entre las estructuras T-084 y T-085, también se cruza sobre 2 líneas primarias a 10 kV una entre las estructuras T-085 y T-086 y la otra entre las estructuras T-086 y T-087, en este mismo vano se cruza sobre 02 carreteras paralelas al río Lurín que van de Pachacamac a Cieneguilla.

Tramo XIII: Del V-29 al V-32

En este tramo se modificó la ubicación de la estructura T-100. El resto del trazo se mantuvo de acuerdo al trazo inicial entregado por supervisión.

El trazo pasa sobre una cadena de montañas con pendiente pronunciada, el terreno presenta en su mayoría roca fracturada y arenosa.

Este tramo es el de mayor dificultad en cuanto a accesos debido a que las estructuras en su mayoría se encuentran en la cima de las montañas, se construyeron caminos de acceso peatonales y se utilizaron los caminos y carreteras afirmadas existentes hasta el pie de las torres. Para el tramo comprendido entre las estructuras T-088 a T-094 se ingresa por un camino carrozable que bordea la cadena montañosa y desde el mismo se continúa por senderos. En esta zona se usó los caminos carrozables de los predios cercanos a la ubicación de estructuras.

Para el tramo comprendido entre las estructuras T-095 a T-098 se ingresa por la vía pavimentada que comunica a Cieneguilla con La Molina. Luego desde la vía por medio de senderos se localizan los diferentes sitios de torre, el desplazamiento a torres es por las quebradas y caminos peatonales construidos por FIANSA SA. Para el acceso a las estructuras T-099 y T-100 se empleó el acceso a la sub estación La Planicie.

En este tramo se cruza entre las estructuras T-095 y T-096 sobre una línea telefónica, la carretera asfaltada la Molina - Cieneguilla y sobre una Línea Primaria a 22.9 kV. Cercano a las estructuras T-097, T-098 y T-099 y T-100 existen viviendas habitadas.

En la Figura 4.9 se muestra el trazo de la línea de transmisión de 220/500 kV.



Figura 4.9 Trazo de la ruta de la L.T. 220/500kV Chilca – La Planicie

4.4.5 Estructuras Usadas en la L.T. 220/500kV

De acuerdo a los criterios de diseño establecidos para este proyecto, se instalaron dos familias de estructuras, una para la línea a 500kV circuito sencillo horizontal, una para la línea a 220kV circuito horizontal doble a 220kV convertible a circuito sencillo horizontal a 500kV.

En el anexo D se presentan las siluetas de las estructuras utilizadas en la línea de transmisión de 220/500kV.

Según el Anexo D todas estas estructuras planteadas son útiles para la línea de 220/500kV y van a ser objeto de estudio de acuerdo a las distancias existentes entre fases, la distancia media geométrica de un sistema trifásico se le puede calcular con la ecuación:

Para la línea de 220kV tiene dos ternas con tres fases cada por lo que la distancia media geométrica será:

$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{A-B} \cdot D_{A-B'} \cdot D_{A-C} \cdot D_{A-C'}}}{D_{A-A'}} \quad (4.1)$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{B-A} \cdot D_{B-A'} \cdot D_{B-C} \cdot D_{B-C'}}}{D_{B-B'}} \quad (4.2)$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{C-A} \cdot D_{C-A'} \cdot D_{C-B} \cdot D_{C-B'}}}{D_{C-C'}} \quad (4.3)$$

Finalmente la distancia media geométrica será:

$$DMG = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} \quad (4.4)$$

Para la línea de 500kV que tiene una terna en forma horizontal la distancia media geométrica será:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{A-B} \cdot D_{A-C} \cdot D_{B-C}} \quad (4.5)$$

Calculando con las ecuaciones anteriores se tiene que las distancias medias geométricas para las diferentes tipos de torres utilizados están presentadas en el anexo E.

En el anexo F se presentan los radios medios geométricos de los haces de conductores para la L.T. 220/500kV.

CAPÍTULO V CALCULO DE LAS PÉRDIDAS

5.1 Cálculo del gradiente crítico

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

En el Anexo G se indican los cálculos respectivos del gradiente crítico, los cuales no dependen de la disposición de la configuración del has de conductores, tampoco de la separación entre fases, dependen exclusivamente de las condiciones atmosféricas, del radio del conductor y de las condiciones superficiales del conductor.

Mediante las ecuaciones 2.8, 2.9, 2.10 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 la línea de 500kV recién está en operación se considerará que el factor de rugosidad de los conductores será cercana a uno que es lo ideal por tratarse de conductores nuevos, se estudiará dos casos de variante del coeficiente de rugosidad del conductor que son : m_c igual a 0.85. Así mismo, se considerará varios escenarios de condiciones ambientales, para este caso del proyecto se analizará en ambientes secos, húmedos, por lo que el valor de m_t es de 1 para ambientes secos, 0.8 para ambientes húmedos.

Para el cálculo se consideraron dos tramos:

- Tramo I: Comprendido entre la S.E. Chilca y la T-054
- Tramo II: Comprendido entre la T-054 y la S.E. La Planicie para la L.T. de 220kV y la T-100 para la L.T. 500 kV

5.2 Cálculo de las pérdidas por el efecto corona

Las pérdidas por efecto corona en cada fase de la línea se calcula mediante la fórmula de Peek.

$$P = \frac{241}{\delta} (f+25) \sqrt{\frac{R}{D}} (V - V_d)^2 10^{-5} \quad (5.1)$$

- P : Pérdidas, en Kw/km/fase.

- δ : Densidad relativa del aire
- f : Frecuencia del sistema, en Hz.
- R : Radio del conductor, en cm.
- D : Distancia efectiva entre fases, en cm.
- V : Voltaje efectivo fase neutro, en kV.
- V_C : Voltaje efectivo crítico disruptivo, en kV.

Tabla 5.1 Tensiones máximas de servicio

Tensión Nominal kV	V _m , tensión máxima de servicio (depende del equipo)
60	72,5
138	145
220	245
500	550

En el anexo H se presentan los cálculos de las pérdidas por efecto corona para los diferentes tipos de estructuras usadas en la L.T. 500 Kv.

5.3 Comparación de resultados

Para establecer donde se produce o en donde no se produce el efecto corona se realiza una comparación entre el gradiente máximo y crítico.

- Si $V_{\max} < V_C$, no existe efecto corona, por consiguiente, no existen pérdidas por efecto corona.
- Si $V_{\max} > V_C$, existe el efecto corona, por lo tanto, existen pérdidas debido al efecto corona existente.

En el Anexo I se presentan los análisis de resultados la tensión máxima de servicio y la tensión de gradiente crítico.

5.4 Evaluación de resultados

A continuación se presenta un resumen de la evaluación de resultados:

Tabla 5.2 L.T. 220kV Tramo I

Tipo de torres	Linea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE AG	220	0.85	1.00	260.43	332.55	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE B	220	0.85	1.00	260.43	332.66	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE C	220	0.85	1.00	260.43	317.45	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE D	220	0.85	1.00	260.43	336.52	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00

Tabla 5.3 L.T. 220kV Tramo I

Tipo de torres	Linea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE AG	220	0.85	0.80	260.43	270.62	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE B	220	0.85	0.80	260.43	270.70	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE C	220	0.85	0.80	260.43	258.33	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE D	220	0.85	0.80	260.43	273.84	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00

Tabla 5.4 L.T. 220kV Tramo II

Tipo de torres	Línea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE AG	220	0.85	1.00	460.59	328.75	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE B	220	0.85	1.00	460.59	328.85	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE C	220	0.85	1.00	460.59	313.82	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE D	220	0.85	1.00	460.59	332.67	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00

Tabla 5.5 L.T. 220kV Tramo II

Tipo de torres	Línea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE AG	220	0.85	0.80	460.59	265.74	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE B	220	0.85	0.80	460.59	265.82	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE C	220	0.85	0.80	460.59	253.67	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE D	220	0.85	0.80	460.59	268.91	245.00	No hay presencia de efecto corona	0.00

Tabla 5.6 L.T. 500kV Tramo I

Tipo de torres	Línea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE A	500	0.85	1.00	260.43	549.01	550.00	Existe presencia de efecto corona	0.66
TORRE AS	500	0.85	1.00	260.43	549.01	550.00	Existe presencia de efecto corona	0.66
TORRE BR	500	0.85	1.00	260.43	551.18	550.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE C	500	0.85	1.00	260.43	551.18	550.00	No hay presencia de efecto corona	0.00
TORRE D	500	0.85	1.00	260.43	561.81	550.00	No hay presencia de efecto corona	0.00

Tabla 5.7 L.T. 500kV Tramo I

Tipo de torres	Línea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE A	500	0.85	0.80	260.43	446.94	550.00	Existe presencia de efecto corona	6966.63
TORRE AS	500	0.85	0.80	260.43	446.94	550.00	Existe presencia de efecto corona	6966.63
TORRE BR	500	0.85	0.80	260.43	448.71	550.00	Existe presencia de efecto corona	6673.79
TORRE C	500	0.85	0.80	260.43	448.71	550.00	Existe presencia de efecto corona	6673.79
TORRE D	500	0.85	0.80	260.43	457.37	550.00	Existe presencia de efecto corona	5358.77

Tabla 5.8 L.T. 500kV Tramo II

Tipo de torres	Línea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE A	500	0.85	1.00	460.59	542.96	550.00	Existe presencia de efecto corona	30.69
TORRE AS	500	0.85	1.00	460.59	542.96	550.00	Existe presencia de efecto corona	30.69
TORRE BR	500	0.85	1.00	460.59	545.10	550.00	Existe presencia de efecto corona	14.70
TORRE C	500	0.85	1.00	460.59	545.10	550.00	Existe presencia de efecto corona	14.70
TORRE D	500	0.85	1.00	460.59	555.62	550.00	No hay presencia de efecto corona	0.00

Tabla 5.9 L.T. 500kV Tramo II

Tipo de torres	Línea de Transmisión (kV)	m		Altitud (msnm)	U _c (kV)	U _{max} (kV)	Observación	Pérdidas kW
		m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE A	500	0.85	0.80	460.59	438.84	550.00	Existe presencia de efecto corona	7563.33
TORRE AS	500	0.85	0.80	460.59	438.84	550.00	Existe presencia de efecto corona	7563.33
TORRE BR	500	0.85	0.80	460.59	440.58	550.00	Existe presencia de efecto corona	7268.11
TORRE C	500	0.85	0.80	460.59	440.58	550.00	Existe presencia de efecto corona	7268.11
TORRE D	500	0.85	0.80	460.59	449.08	550.00	Existe presencia de efecto corona	5935.79

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Las estructuras con mayor distancia entre las fases son los que generan menores pérdidas por efecto corona.
2. Las pérdidas por efecto corona en el recorrido de la línea en el tramo I comprendido entre los 0 msnm y los 270 msnm, son menores que las pérdidas en el tramo II comprendido entre los 260 msnm y los 470 msnm para la L.T. de 500 kV, debido a que atraviesan regiones de mayor altitud.
3. Para la L.T. de 220 kV para los dos tramos considerados no existen pérdidas por efecto corona.
4. Mientras mayor sea el voltaje de operación del sistema y menor el gradiente crítico, mayor será las pérdidas por efecto corona lo cual reduce la eficiencia de transmisión de energía.

Recomendaciones

1. Es necesario realizar un análisis profundo de las pérdidas por efecto corona debido a las diversidades de climas que presenta la geografía peruana y el relieve geográfico.
2. Se recomienda realizar el estudio de las radios interferencia y ruidos audibles en 500kV y verificar que tanto influye en la franja de servidumbre a este nivel de voltaje.
3. Se recomienda la utilización de equipos termográficos para identificar los puntos donde se producen el efecto corona en las líneas de transmisión.

ANEXOS

ANEXO A
FACTORES QUE VARÍAN EL GRADIENTE CRITICO

Tabla I.1 FACTORES QUE VARÍAN EL GRADIENTE CRITICO

CASOS	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL CONDUCTOR	COEFICIENTE AMBIENTAL	
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 $m_t = 0.25$	

ANEXO B
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS CONDUCTORES

Tabla A.1 Especificaciones técnicas ACAR 600MCM

ACAR 600 (18/19 x 3.233 mm)				
Item	Description	Unit	Required	Offered
1	Manufacturer			Midal Cables Ltd
2	Country			Kingdom of Bahrain
3	Reference			
4	Standard for aluminium 1350-H19 wire		ASTM B230	ASTM B 230
5	Standard for aluminium-alloy 6201-T81 wire		ASTM B398	ASTM B 398
6	Standard for ACAR conductor		ASTM B524	ASTM B 524
7	Type		ACAR	ACAR
8	Conductor size	cmil	600.00	600.00
9	Cross section	mm ²	304.00	303.74
10	Number of aluminum-alloy 6201-T81 wires		19.00	19
11	Number of aluminum 1350-H20 wires		18.00	18
12	Diameter of aluminum-alloy 6201-T81 wires	mm	3.233	3.233
13	Diameter of aluminum 1350-H19 wires	mm	3.233	3.233
14	Outside diameter of conductor	mm	22.63	22.63
15	Unit weight (without grease)	kg/km	833.00	835.00
16	Grease Weight (Case 2)	kg/km		34.28
17	Unit weight (with grease)	kg/km		869.28
18	Minimum rated strength	kg	7.148.00	7.148
19	Rated DC resistance at 20°C	Ohms/km	0.1022	0.1022

Tabla A.2 Especificaciones técnicas ACAR 550MCM

ACAR 550 (18/19 x 3.096 mm)				
Item	Description	Unit	Required	Offered
1	Manufacturer			Midal Cables Ltd
2	Country			Kingdom of Bahrain
3	Reference			
4	Standard for aluminium 1350-H19 wires		ASTM B230	ASTM B 230
5	Standard for aluminium-alloy 6201-T81 wires		ASTM B398	ASTM B 398
6	Standard for ACAR conductor		ASTM B524	ASTM B 524
7	Type		ACAR	ACAR
8	Conductor size	cmil	550.00	550.00
9	Cross section	mm ²	279.00	278.54
10	Number of aluminum-alloy 6201-T81 wires		19.00	19
11	Number of aluminum 1350-H20 wires		18.00	18
12	Diameter of aluminum-alloy 6201-T81 wires	mm	3.096	3.096
13	Diameter of aluminum 1350-H19 wires	mm	3.096	3.096
14	Outside diameter of conductor	mm	21.67	21.67
15	Unit weight (without grease)	kg/km	765.00	765.00
16	Grease Weight (Case 2)	kg/km		31.44
17	Unit weight (with grease)	kg/km		796.44
18	Minimum rated strength	kg	6.557.00	6.557
19	Rated DC resistance at 20°C	Ohms/km	0.1115	0.1115

ANEXO C
PLANILLA DE ESTRUCTURAS L.T. 220/500kV

Tabla B.1 TRAMO 1: L.T. 220 KV CHILCA-LA PLANICIE - TABLA DE TORRES

Nº DE CAMPO	NUMERACION DEFINITIVA	TIPO DE ESTRUCTURA	ABSCISA	COTA (m)	VERTICE	ANGULO DE DEFLEXION	VANO ADELANTE
S.E. CHILCA		PORTICO	0.00	75.97			
T01	T-001	D	35.72	75.87	V-01	42.90	190.74
T02	T-002	C	226.46	71.02	V-02	22.10	186.28
T03	T-003	AG	412.74	72.38			404.85
T04	T-004	AG	817.59	75.9			510.95
T05	T-005	AG	1328.54	121.05			610.75
T06	T-006	C	1939.29	173.29	V-03	-17.20	544.08
T07	T-007	B	2483.37	216.58	V-04	-1.89	92.03
T08	T-008	AG	2575.40	215.46			665.77
T09	T-009	B	3241.17	135.82			605.2
T10	T-010	AG	3846.37	217.81			277.66
T11	T-011	C	4124.03	293.96	V-05	-24.60	119.98
T12	T-012	AG	4244.01	275.64			485.12
T13	T-013	AG	4729.13	213.96			401.94
T14	T-014	B	5131.07	214.75			703.44
T15	T-015	B	5834.51	369.7			346.41
T17	T-016	B	6180.92	510.84			613.73
T18	T-017	AG	6794.65	582.77			472.41
T19	T-018	AG	7267.06	601.28			436.78
T20	T-019	B	7703.84	492.61			1034.02
T21	T-020	C	8737.86	344.45			563.41
T22	T-021	AG	9301.27	363.27			482.13
T23	T-022	AG	9783.40	330.13			618.53
T24	T-023	AG	10401.93	223.25			478.8
T25	T-024	C	10880.73	234.24			494.85
T26	T-025	AG	11375.58	386.47			159.97
T27	T-026	C	11535.55	410.02	V-06	-20.22	219.13
T28	T-027	AG	11754.68	404.57			244.35
T29	T-028	AG	11999.03	334.84			820.45
T30	T-029	B	12819.48	243.69			381.09
T31	T-030	AG	13200.57	297.69			333.9
T32	T-031	AG	13534.47	274.79			250.12
T33	T-032	AG	13784.59	224.68			605.16
T34	T-033	AG	14389.75	194.62			288.6
T35	T-034	AG	14678.35	188.8			610.5
T36	T-035	AG	15288.85	296.76			250.58
T37	T-036	AG	15539.43	318.59			436.83
T38	T-037	AG	15976.26	294.4			368.03
T39	T-038	AG	16344.29	241.18			767.51

T40	T-039	B	17111.80	165.24			321.31
T41	T-040	AG	17433.11	210.53			461.08
T42	T-041	AG	17894.19	257.22			477.03
T43	T-042	AG	18371.22	260.44			529.03
T44	T-043	AG	18900.25	281.58			240.14
T45	T-044	AG	19140.39	252.69			767.84
T46	T-045	B	19908.23	295.87			532.86
T47	T-046	B	20441.09	295	V-07	2.29	492.07
T48	T-047	AG	20933.16	223.12			630.22
T49	T-048	AG	21563.38	188.15			424.4
T50	T-049	AG	21987.78	193.16			398.61
T51	T-050	AG	22386.39	200.01			398.29
T52	T-051	AG	22784.68	206.82			408.72
T53	T-052	AG	23193.40	209.48			390.9
T54	T-053	AG	23584.30	210.95			447.63
T55	T-054	C	24031.93	207.86	V-08	3.74	863.32
T56	T-055	C	24895.25	334.2	V-09	2.70	650.39
T57	T-056	AG	25545.64	355.94			424.38
T58	T-057	D	25970.02	386.64	V-10	39.63	304.47
T59	T-058	B	26274.49	417.44			786.32
T60	T-059	B	27060.81	260.03			532.25
T61	T-060	D	27593.06	347.24	V-11	-39.00	830.42
T62	T-061	D	28423.48	347.3	V-12	-26.10	780.85
T63	T-062	AG	29204.33	451.23			127.95
T64	T-063	AG	29332.28	451.03			1004.17
T65	T-064	C	30336.45	363.19	V-13	10.20	220.86
T66	T-065	D	30557.31	337.51	V-14	31.70	424.51
T67	T-066	AG	30981.82	270.52			450.68
T68	T-067	D	31432.50	244.98	V-15	-44.80	508.41
T69	T-068	C	31940.91	246.82	V-16	-2.31	338.31
T70	T-069	AG	32279.22	252.4			391.34
T71	T-070	AG	32670.56	249.1			574.26
T72	T-071	D	33244.82	317.14	V-17	45.95	191.38
T73	T-072	AG	33436.20	330.12			490.7
T74	T-073	B	33926.90	421.05			785.57
T75	T-074	AG	34712.47	374.84			275.49
T76	T-075	B	34987.96	422.05	V-18	-3.55	371.08
T77	T-076	B	35359.04	352.24			958.26
T78	T-077	C	36317.30	505.1	V-19	-5.25	122.26
T79	T-078	AG	36439.56	507.11			351.44
T79A	T-079	B	36791.00	499.9			679.97
T79B	T-080	AG	37470.97	665.29			164.53
T80	T-081	C	37635.50	689.89	V-20	26.30	280.21

T81	T-082	B	37915.71	612.63			1109.16
T82	T-083	C	39024.87	674.5	V-21	-2.76	451.79
T83	T-084	AG	39476.66	616.3			298.97
T84	T-085	B	39775.63	624.05			118.6
T85	T-086	AG	39894.23	611.02			795.05
T86	T-087	D	40689.28	476.7	V-22	-18.30	239.89
T87	T-088	D	40929.17	525.77	V-23	-32.30	715.55
T88	T-089	AG	41644.72	423.59			284.6
T89	T-090	AG	41929.32	349.72			127.38
T90	T-091	C	42056.70	305.01	V-24	16.60	583.39
T91	T-092	AG	42640.09	240.69			399.25
T91A	T-093	B	43039.34	237.3	V-25	0.386	758.74
T92	T-094	C	43798.08	447.81	V-26	-13.20	435.99
T93	T-095	D	44234.07	417.7	V-27	41.20	470.86
T93A	T-096	AG	44704.93	428.1			652.49
T94	T-097	C	45357.42	517	V-28	-12.40	451.4
T95	T-098	B	45808.82	685.96	V-29	2.06	596.21
T96	T-099	B	46405.03	676.01			778.89
T97	T-100	AG	47183.92	762.52			163.96
T98	T-101	AG	47347.88	759.03			859.11
T99	T-102	B	48206.99	666.1			554.21
T100	T-103	B	48761.20	592.14	V-30	7.26	270.26
T101	T-104	AG	49031.46	626.73			494.38
T102	T-105	C	49525.84	692.08	V-31	-22.20	156.22
T103N	T-106	D	49682.06	657.57	V-32	-54.20	60.5
S.E. PLANICIE		PORTICO	49742.56	637.42			

Tabla B.2 TRAMO 1: L.T. 500 KV CHILCA-T100 (LA PLANICIE) - TABLA DE TORRES

Nº DE CAMPO	NUMERACION DEFINITIVA	TIPO DE ESTRUCTURA	ABSCISA	COTA (m)	VERTICE	ANGULO DE DEFLEXION	VANO ADELANTE
S.E. CHILCA			0.00	77.31			
T1	T-001	D	28.96	76.88	V-01	46.93	161.31
T1A	T-002	C	190.27	71.54	V-02	19.29	336.54
T2	T-003	A	526.81	74.42			329.54
T3	T-004	A	856.35	77.29			335.78
T4	T-005	A	1192.13	102.03			625.74
T5	T-006	BR	1817.87	163.04	V-03	-12.20	532.60
T6	T-007	BR	2350.47	203.53	V-04	-10.75	222.45
T7	T-008	BR	2572.92	229.52			633.58
T8	T-009	BR	3206.50	138.05			589.38
T9	T-010	A	3795.88	249.64			271.99
T11	T-011	C	4067.87	302.56	V-05	-21.96	627.44
T12	T-012	A	4695.31	233.05			374.69

T13	T-013	BR	5070.00	218.22			724.39
T14	T-014	BR	5794.39	351.8			341.03
T15	T-015	AS	6135.42	479.22			565.37
T16	T-016	AS	6700.79	560.2			460.34
T17	T-017	A	7161.13	587.28			163.05
T18	T-018	A	7324.18	576.6			257.95
T19	T-019	AS	7582.13	495.75			1112.44
T20	T-020	AS	8694.57	351.25			492.40
T21	T-021	A	9186.97	355.53			557.69
T22	T-022	AS	9744.66	340.86			680.22
T23	T-023	BR	10424.88	222.31			908.74
T24	T-024	AS	11333.62	395.8			167.43
T25	T-025	C	11501.05	401.28	V-06	-20.20	291.81
T26	T-026	A	11792.86	377.87			224.99
T27	T-027	A	12017.85	322.31			774.04
T28	T-028	BR	12791.89	234.44			380.96
T29	T-029	A	13172.85	287.74			351.27
T30	T-030	AS	13524.12	260.45			851.21
T31	T-031	AS	14375.33	213.65			864.48
T32	T-032	AS	15239.81	303.51			274.03
T33	T-033	A	15513.84	325.18			472.06
T34	T-034	A	15985.90	297.91			334.23
T35	T-035	AS	16320.13	249.08			1065.58
T36	T-036	AS	17385.71	234.54			466.37
T37	T-037	A	17852.08	267.61			497.82
T38	T-038	A	18349.90	286.1			541.74
T39	T-039	A	18891.64	283.92			230.31
T40	T-040	A	19121.95	260.18			684.80
T41	T-041	AS	19806.75	289.07			409.89
T42	T-042	A	20216.64	285.89			197.18
T43	T-043	BR	20413.82	281.66	V-07	2.15	525.06
T44	T-044	AS	20938.88	210.36			577.10
T45	T-045	AS	21515.98	188.23			456.95
T46	T-046	A	21972.93	195.03			440.10
T47	T-047	AS	22413.03	202.66			455.02
T48	T-048	A	22868.05	209.22			404.32
T49	T-049	A	23272.37	213.34			358.52
T50	T-050	TR	23630.89	212.64			371.38
T51	T-051	BR	24002.27	209.97	V-08	3.88	849.85
T52	T-052	BR	24852.12	338.26	V-09	2.70	726.14
T53	T-053	A	25578.26	348.21			341.93
T54	T-054	D	25920.19	392.47	V-10	39.72	169.34
T55	T-055	A	26089.53	421.38			155.29
T56	T-056	A	26244.82	397.58			754.65

T57	T-057	BR	26999.47	270.44			543.68
T58	T-058	D	27543.15	352.89	V-11	-36.72	849.87
T59	T-059	C	28393.02	375.26	V-12	-29.32	887.60
T60	T-060	D	29280.62	490.12			1055.87
T61	T-061	D	30336.49	373.54	V-13	36.82	118.53
T62	T-062	A	30455.02	353.12			465.23
T63	T-063	BR	30920.25	259.37			479.29
T64	T-064	D	31399.54	247.16	V-14	-38.86	525.60
T65	T-065	D	31925.14	248.59	V-15	-2.28	320.66
T66	T-066	A	32245.80	254.86			335.62
T67	T-067	A	32581.42	251.49			629.18
T69	T-068	D	33210.60	318.35	V-16	45.94	677.08
T70	T-069	AS	33887.68	427.32			805.94
T71	T-070	A	34693.62	413.12			205.00
T72	T-071	A	34898.62	429.35	V-17	0.42	409.80
T73	T-072	AS	35308.42	393.61			842.29
T74	T-073	C	36150.71	444.47	V-18	-16.86	255.32
T75	T-074	C	36406.03	496.7	V-19	6.04	967.94
T76	T-075	AS	37373.97	632.36			234.55
T77	T-076	C	37608.52	677.02	V-20	29.90	139.87
T78	T-077	AS	37748.39	656.08			1241.11
T80	T-078	BR	38989.50	698.26	V-21	-6.37	393.93
T81	T-079	A	39383.43	643.28			390.36
T82	T-080	BR	39773.79	647.53			898.37
T83	T-081	C	40672.16	501.01	V-22	-18.39	229.70
T84	T-082	C	40901.86	550.54	V-23	-30.23	687.50
T85	T-083	TR	41589.36	426.3			318.03
T86	T-084	BR	41907.39	377.35	V-24	13.58	819.42
T87	T-085	AS	42726.81	241.16			287.88
T88	T-086	BR	43014.69	238.88	V-25	5.59	723.76
T90	T-087	C	43738.45	405.09	V-26	-17.58	480.21
T91	T-088	D	44218.66	387.91	V-27	43.07	398.23
T92	T-089	C	44616.89	415.42			758.23
T92A	T-090	BR	45375.12	544.04	V-28	-1.49	349.63
T93	T-091	C	45724.75	665.82	V-29	-10.50	657.87
T94	T-092	AS	46382.62	647.84			785.20
T95	T-093	AS	47167.82	717.85			179.13
T96	T-094	A	47346.95	716.44			858.59
T97	T-095	C	48205.54	636.24	V-30	17.51	356.71
T98	T-096	C	48562.25	550.5	V-31	-15.42	489.13
T99	T-097	A	49051.38	639.58			134.31
T100	T-098	A	49185.69	658.14			344.00
T101	T-099	A	49529.69	697.9			139.82
T102	T-100	BR	49669.51	694.91	V-33	-11.88	

ANEXO D
TORRE UTILIZADAS EN LA LÍNEA DE 220/500kV

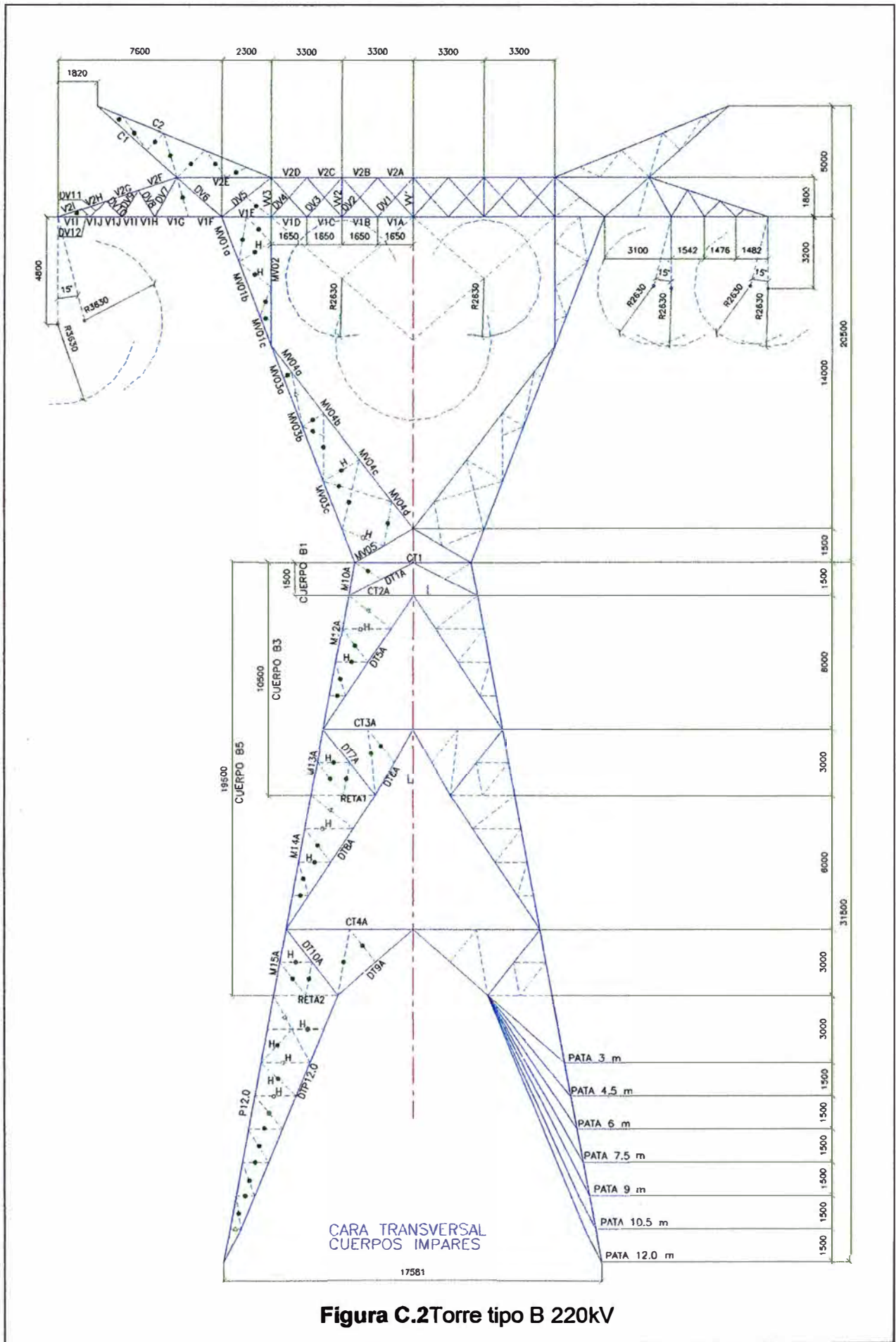
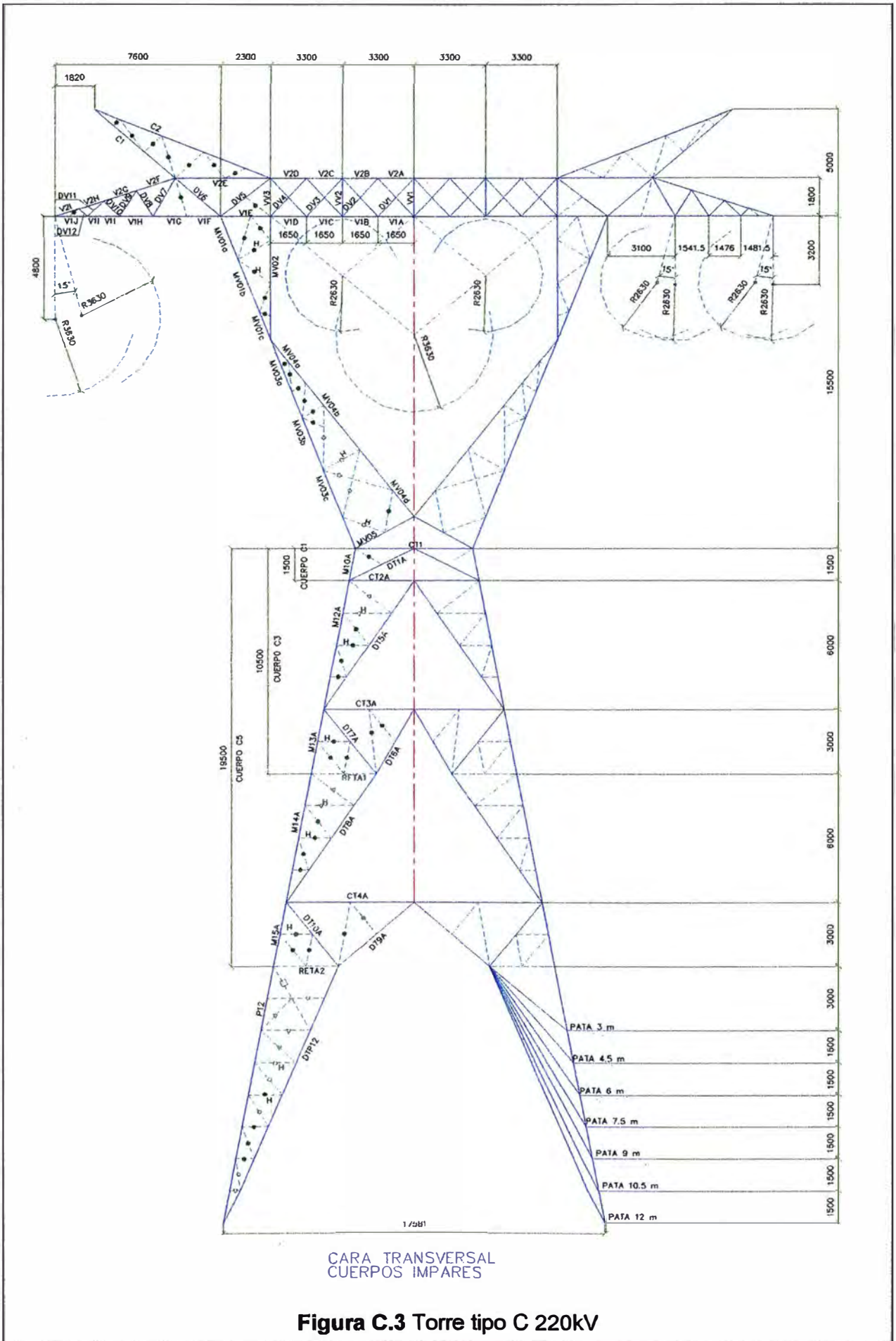


Figura C.2 Torre tipo B 220kV



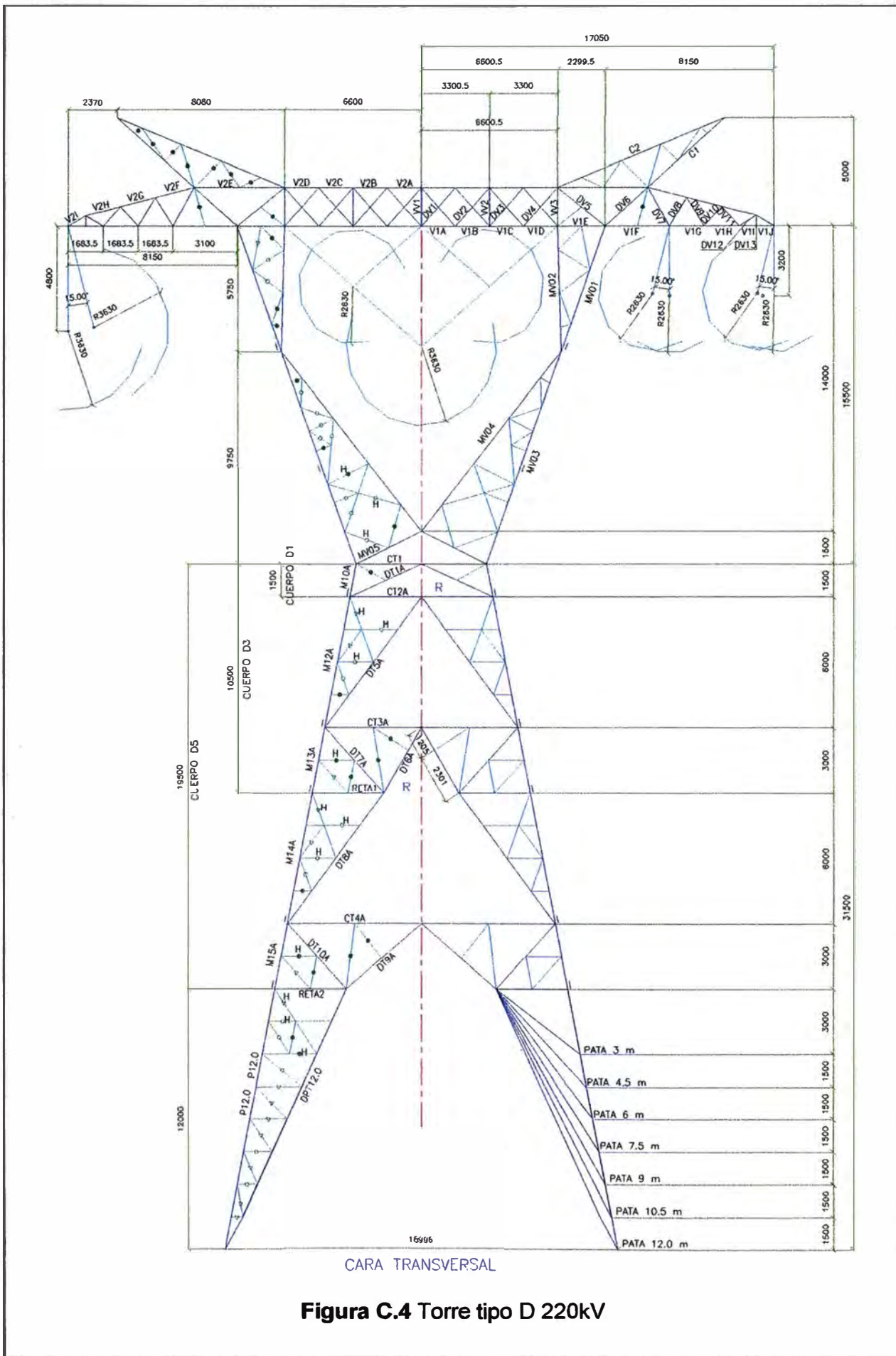


Figura C.4 Torre tipo D 220kV

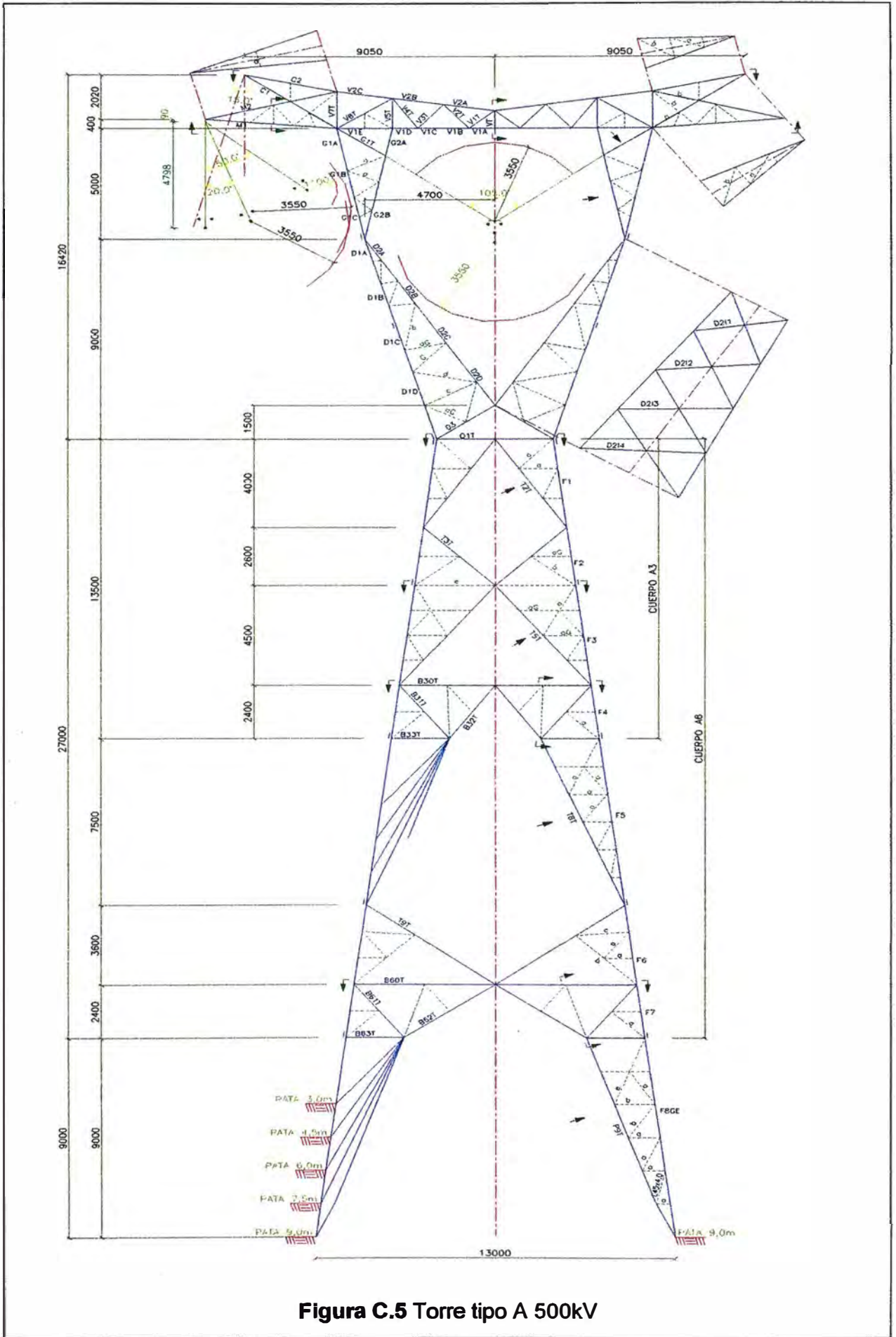


Figura C.5 Torre tipo A 500kV

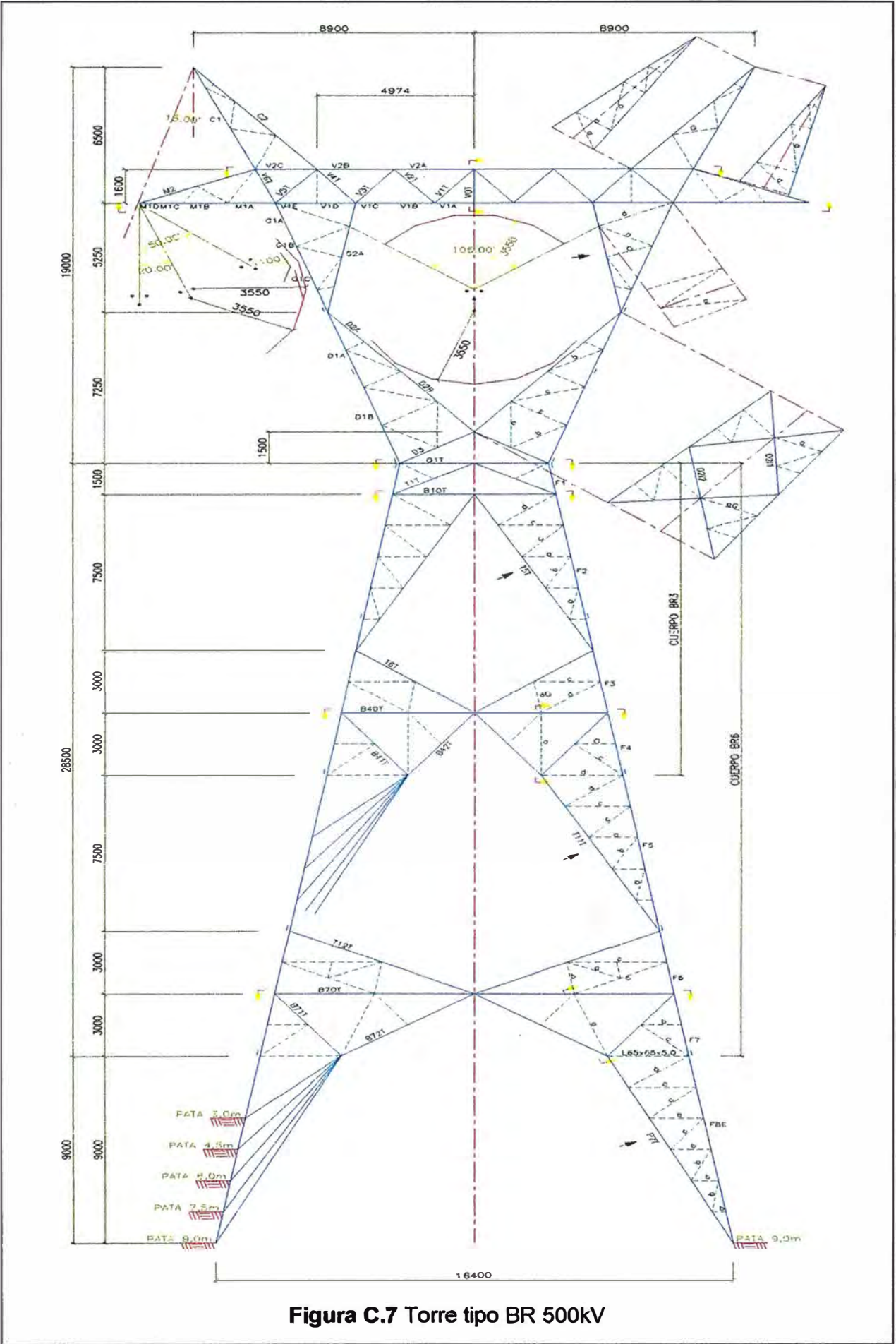


Figura C.7 Torre tipo BR 500kV

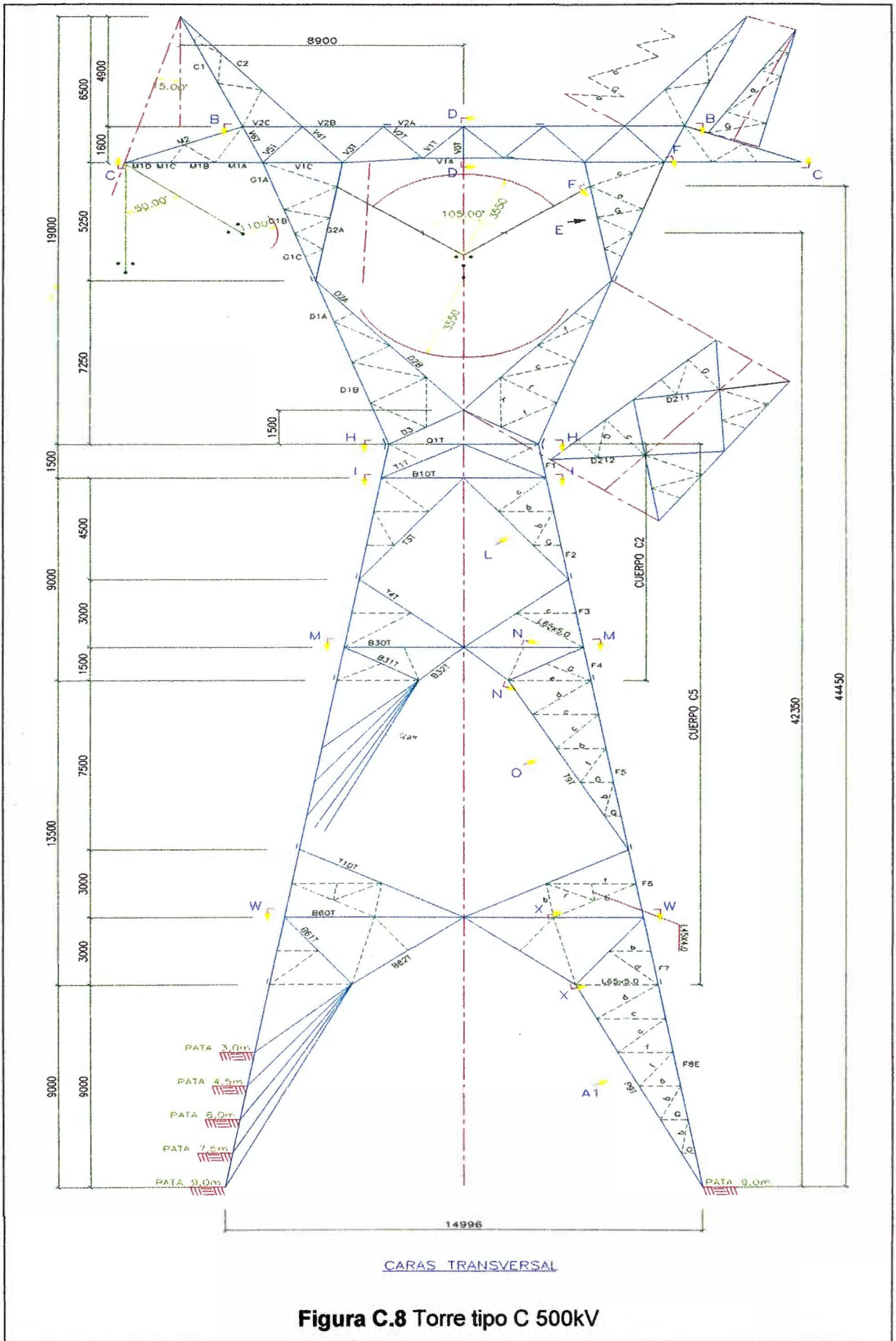


Figura C.8 Torre tipo C 500kV

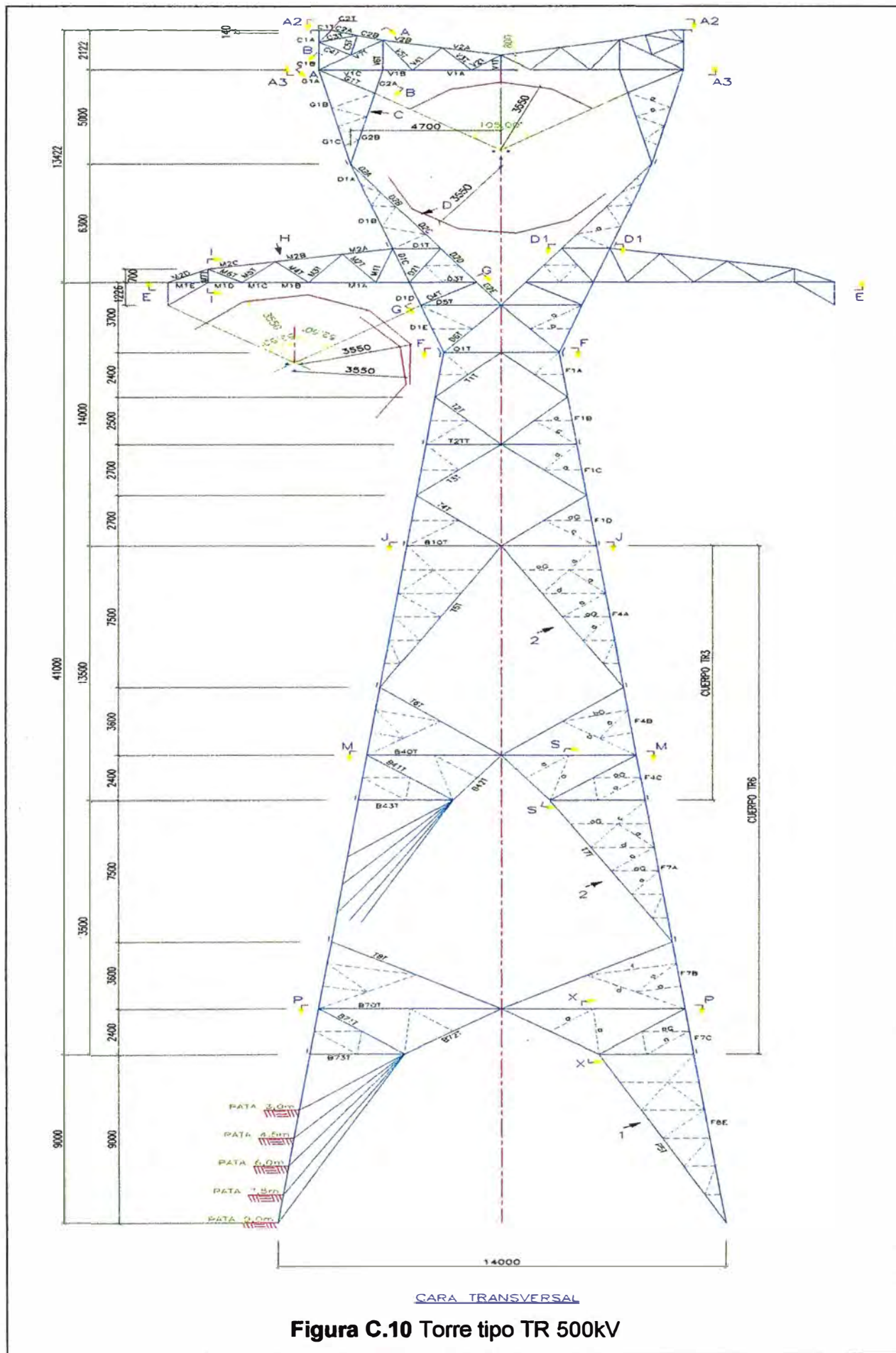


Figura C.10 Torre tipo TR 500kV

ANEXO E
DISTANCIA MEDIAS GEOMÉTRICAS PARA LA L.T. 220/500Kv

L.T. 220kV

TIPO DE TORRES	DISTANCIAS (m)						D ₁	D ₁ (cm)
	R-S	R-S'	R-T	R-T'	R-R'			
TORRE AG	4.45	28.55	13.2	19.8	33	5.52190185	552.19	
TORRE B	4.5	28.5	13.2	19.8	33	5.5479726	554.80	
TORRE C	3.6	22.8	10.56	15.84	26.4	4.43837808	443.84	
TORRE D	5.05	29.05	13.75	20.35	34.1	5.94152507	594.15	

TIPO DE TORRES	DISTANCIAS (m)					D ₂	D ₂ (cm)
	S-R	S-R'	S-T	S-T'	S-S'		
TORRE AG	4.45	28.55	8.75	15.35	24.1	5.42031137	542.03
TORRE B	4.5	28.5	8.7	15.3	24	5.44405854	544.41
TORRE C	3.6	22.8	6.96	12.24	19.2	4.35524684	435.52
TORRE D	5.05	29.05	8.7	15.3	24	5.82254505	582.25

TIPO DE TORRES	DISTANCIAS (m)					D ₃	D ₃ (cm)
	T-R	T-R'	T-S	T-S'	T-T'		
TORRE AG	13.2	19.8	8.75	15.35	6.6	28.3879376	2838.79
TORRE B	13.2	19.8	8.7	15.3	6.6	28.2605732	2826.06
TORRE C	10.56	15.84	6.96	12.24	5.28	22.6084586	2260.85
TORRE D	13.75	20.35	8.7	15.3	6.6	29.2411846	2924.12

TIPO DE TORRES	DISTANCIAS (m)				DMG	DMG (cm)
	D ₁	D ₂	D ₃			
TORRE AG	5.52190	5.42031	28.38794	9.47143	947.14	
TORRE B	5.54797	5.44406	28.26057	9.48591	948.59	
TORRE C	4.43838	4.35525	22.60846	7.5887	758.87	
TORRE D	5.94153	5.82255	29.24118	10.0385	1003.85	

L.T. 500kV

TIPO DE TORRES	DISTANCIAS (m)				DMG	DMG (cm)
	A-B	A-C	B-C			
TORRE A	10.425	20.850	10.425	13.13468	1313.47	
TORRE AS	10.425	20.850	10.425	13.13468	1313.47	
TORRE BR	10.600	21.200	10.600	13.35516	1335.52	
TORRE C	10.600	21.200	10.600	13.35516	1335.52	
TORRE D	11.500	23.000	11.500	14.48909	1448.91	

ANEXO F
RADIOS MEDIOS GEOMÉTRICOS DE LA L.T. 220/500kV.

L.T. 220kV

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	SEPARACION DE CONDUCTORES (cm)	NUMERO DE CONDUCTORES	RADIO DE CONDUCTOR (cm)	R (cm)	RMG (cm)
TORRE AG	947.143	45.7	2.00	1.132	22.85	7.191
TORRE B	948.591	45.7	2.00	1.132	22.85	7.191
TORRE C	758.87	45.7	2.00	1.132	22.85	7.191
TORRE D	1003.85	45.7	2.00	1.132	22.85	7.191

L.T. 500kV

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	SEPARACION DE CONDUCTORES (cm)	NUMERO DE CONDUCTORES	RADIO DE CONDUCTOR (cm)	R (cm)	RMG (cm)
TORRE A	1313.47	45.7	4.00	1.0835	32.31	19.556
TORRE AS	1313.47	45.7	4.00	1.0835	32.31	19.556
TORRE BR	1335.52	45.7	4.00	1.0835	32.31	19.556
TORRE C	1335.52	45.7	4.00	1.0835	32.31	19.556
TORRE D	1448.91	45.7	4.00	1.0835	32.31	19.556

ANEXO G
GRADIENTE CRÍTICO CALCULADO

Gradiente Crítico Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 220kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE AG	947.14	7.191	1.132	0.85	1.00	260.43	24.00	73.555	0.971	332.55
TORRE B	948.59	7.191	1.132	0.85	1.00	260.43	24.00	73.555	0.971	332.66
TORRE C	758.87	7.191	1.132	0.85	1.00	260.43	24.00	73.555	0.971	317.45
TORRE D	1003.85	7.191	1.132	0.85	1.00	260.43	24.00	73.555	0.971	336.52

Gradiente Critico Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 220kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE AG	947.14	7.191	1.132	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	270.62
TORRE B	948.59	7.191	1.132	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	270.70
TORRE C	758.87	7.191	1.132	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	258.33
TORRE D	1003.85	7.191	1.132	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	273.84

Gradiente Critico Tramo T054-S.E. La Planicie L.T. 220kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE AG	947.14	7.191	1.132	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	328.75
TORRE B	948.59	7.191	1.132	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	328.75
TORRE C	758.87	7.191	1.132	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	313.82
TORRE D	1003.85	7.191	1.132	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	332.67

Gradiente Critico Tramo T054-S.E. La Planicie L.T. 220kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE AG	947.14	7.191	1.132	0.85	0.8	460.59	17.00	71.73	0.9699	265.74
TORRE B	948.59	7.191	1.132	0.85	0.8	460.59	17.00	71.73	0.9699	265.82
TORRE C	758.87	7.191	1.132	0.85	0.8	460.59	17.00	71.73	0.9699	253.67
TORRE D	1003.85	7.191	1.132	0.85	0.8	460.59	17.00	71.73	0.9699	268.91

Gradiente Crítico Tramo S.E. Chilca-T054 L.T. 500kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE A	1313.47	19.556	1.0835	0.85	1.00	260.43	24.00	73.55	0.971	549.01
TORRE AS	1313.47	19.556	1.0835	0.85	1.00	260.43	24.00	73.55	0.971	549.01
TORRE BR	1335.52	19.556	1.0835	0.85	1.00	260.43	24.00	73.55	0.971	551.18
TORRE C	1335.52	19.556	1.0835	0.85	1.00	260.43	24.00	73.55	0.971	551.18
TORRE D	1448.91	19.556	1.0835	0.85	1.00	260.43	24.00	73.55	0.971	561.81

Gradiente Crítico Tramo S.E. Chilca-T054 L.T. 500kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE A	1313.47	19.556	1.0835	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	446.94
TORRE AS	1313.47	19.556	1.0835	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	446.94
TORRE BR	1335.52	19.556	1.0835	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	448.71
TORRE C	1335.52	19.556	1.0835	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	448.71
TORRE D	1448.91	19.556	1.0835	0.85	0.80	260.43	19.00	73.55	0.9877	457.37

Gradiente Crítico Tramo T054- T100 (S.E. La Planicie) L.T. 500kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo seco)					
TORRE A	1313.47	19.56	1.0835	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	542.96
TORRE AS	1313.47	19.56	1.0835	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	542.96
TORRE BR	1335.52	19.56	1.0835	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	545.10
TORRE C	1335.52	19.56	1.0835	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	545.10
TORRE D	1448.91	19.56	1.0835	0.85	1.00	460.59	20.00	71.73	0.9599	555.62

Gradiente Crítico Tramo T054- S.E. La Planicie L.T. 500kV

Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$

TIPO DE TORRES	DMG (cm)	RMG (cm)	RADIO DEL CONDUCTOR (cm)	m		y (msnm)	T (°C)	h (cm)	δ	U _c (kV)
				m _c (cables)	m _t (tiempo húmedo)					
TORRE A	1313.47	19.56	1.084	0.85	0.8	460.59	17.00	71.729	0.9698	438.84
TORRE AS	1313.47	19.56	1.084	0.85	0.8	460.59	17.00	71.729	0.9698	438.84
TORRE BR	1335.52	19.56	1.084	0.85	0.8	460.59	17.00	71.729	0.9698	440.58
TORRE C	1335.52	19.56	1.084	0.85	0.8	460.59	17.00	71.729	0.9698	440.58
TORRE D	1448.91	19.56	1.084	0.85	0.8	460.59	17.00	71.729	0.9698	449.08

ANEXO H
CÁLCULO DE PÉRDIDAS

Calculo de pérdidas L.T. 500kV

Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	δ	DMG (cm)	RMG (cm)	f (Hz)	Numero de Fases	Pérdidas Kw/Km	Km	Pérdidas kW
TORRE A	549.01	550.00	0.971	1313.47	19.556	60.00	3	0.025	25.920	0.658
TORRE AS	549.01	550.00	0.971	1313.47	19.556	60.00	3	0.025	25.920	0.658

Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	δ	DMG (cm)	RMG (cm)	f (Hz)	Numero de Fases	Pérdidas Kw/Km	Km	Pérdidas kW
TORRE A	446.94	550.00	0.9877	1313.47	19.556	60.00	3	268.774	25.920	6966.63
TORRE AS	446.94	550.00	0.9877	1313.47	19.556	60.00	3	268.774	25.920	6966.63
TORRE BR	448.71	550.00	0.9877	1335.52	19.556	60.00	3	257.477	25.920	6673.79
TORRE C	448.71	550.00	0.9877	1335.52	19.556	60.00	3	257.477	25.920	6673.79
TORRE D	457.37	550.00	0.9877	1448.91	19.556	60.00	3	206.743	25.920	5358.77

Tramo T054-S.E. La Planicie (T100) L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	δ	DMG (cm)	RMG (cm)	f (Hz)	Numero de Fases	Pérdidas Kw/Km	Km	Pérdidas kW
TORRE A	542.96	550.00	0.9599	1313.47	19.556	60.00	3	1.292	23.750	30.69
TORRE AS	542.96	550.00	0.9599	1313.47	19.556	60.00	3	1.292	23.750	30.69
TORRE BR	545.10	550.00	0.9599	1335.52	19.556	60.00	3	0.619	23.750	14.70
TORRE C	545.10	550.00	0.9599	1335.52	19.556	60.00	3	0.619	23.750	14.70

Tramo T054-S.E. La Planicie (T100) L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	δ	DMG (cm)	RMG (cm)	f (Hz)	Numero de Fases	Pérdidas Kw/Km	Km	Pérdidas kW
TORRE A	438.84	550.00	0.9698	1313.47	19.556	60.00	3	318.456	23.750	7563.33
TORRE AS	438.84	550.00	0.9698	1313.47	19.556	60.00	3	318.456	23.750	7563.33
TORRE BR	440.58	550.00	0.9698	1335.52	19.556	60.00	3	306.026	23.750	7268.11
TORRE C	440.58	550.00	0.9698	1335.52	19.556	60.00	3	306.026	23.750	7268.11
TORRE D	449.08	550.00	0.9698	1448.91	19.556	60.00	3	249.928	23.750	5935.79

ANEXO I
EVALUACIÓN DE RESULTADOS

L.T. 220kV

Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 220kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE AG	332.55	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE B	332.66	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE C	317.45	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE D	336.52	245.00	No hay presencia de efecto corona

Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 220kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE AG	270.62	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE B	270.70	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE C	258.33	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE D	273.84	245.00	No hay presencia de efecto corona

Tramo T054-S.E. La Planicie L.T. 220kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 1.00$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE AG	328.75	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE B	328.85	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE C	313.82	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE D	332.67	245.00	No hay presencia de efecto corona

Tramo T054-S.E. La Planicie L.T. 220kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_t = 0.80$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE AG	265.74	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE B	265.82	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE C	253.67	245.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE D	268.91	245.00	No hay presencia de efecto corona

L.T. 500kV

Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_r = 1.00$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE A	549.01	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE AS	549.01	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE BR	551.18	550.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE C	551.18	550.00	No hay presencia de efecto corona
TORRE D	561.81	550.00	No hay presencia de efecto corona

Tramo S.E. Chilca-T 054 L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_r = 0.80$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE A	446.94	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE AS	446.94	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE BR	448.71	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE C	448.71	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE D	457.37	550.00	Existe presencia de efecto corona

Tramo T054-S.E. La Planicie (T100) L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_r = 1.00$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE A	542.96	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE AS	542.96	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE BR	545.10	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE C	545.10	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE D	555.62	550.00	No hay presencia de efecto corona

Tramo T054-S.E. La Planicie (T100) L.T. 500kV (Para $m_c = 0.85$ y $m_r = 0.80$)

Tipo de torres	U_c (kV)	U_{max} (kV)	Observación
TORRE A	438.84	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE AS	438.84	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE BR	440.58	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE C	440.58	550.00	Existe presencia de efecto corona
TORRE D	449.08	550.00	Existe presencia de efecto corona

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nelson Morales Osorio, Fenómeno Corona en Líneas de Transmisión y Efectos, Universidad de Chile, 1986
- [2] Francisco Rodríguez, El Transporte de la Energía Eléctrica en Alta Tensión, Universidad Politécnica de Valencia, 2003
- [3] Francisco Román, Metodología Para la Evaluación de pérdidas Corona en Líneas de Transmisión, Universidad Nacional Colombia, 1981
- [4] Moisés Flores Tinoco, Líneas de Transmisión de Potencia, Universidad Nacional de Ingeniería, 2000
- [5] Luis María Checa, Líneas de Transporte de Energía, España, 1988
- [6] Juan Bautista Ríos, Líneas de Transmisión de Potencia, Universidad Nacional de Ingeniería, 2008
- [7] Justo Yanque Montufar, Alta Tensión, Universidad Nacional de Ingeniería, 2008
- [8] Proyecto Centro, ISA-PERÚ, 2010