EXTENSIÓN DE LA LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN a 69 KV BOMBOIZA-GUALAQUIZA

MEMORIA TÉCNICA

Dirección: Rocafuerte 162 - 26 y Olmedo
Código postal: 110101 / Loja -Ecuador
Teléfono: +593-3700 200
www.eerssa.gob.ec

1 ANTECEDENTES

La Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. suministra el servicio de energía eléctrica a las provincias de Loja, Zamora Chinchipe y el cantón Gualaquiza de la provincia de Morona Santiago.

El plan de expansión de la EERSSA contempla el incremento de índices de cobertura del servicio eléctrico y el mejoramiento del servicio en las redes existentes.

El plan de expansión proyecta la construcción de la subestación Gualaquiza, misma que ayudará a mejorar los índices de confiabilidad del servicio, así como los parámetros de calidad de producto en el servicio que se suministra al cantón Gualaquiza, esta subestación requiere la alimentación en 69 KV a través de una línea de subtransmisión para lo cual la EERSSA realizará la construcción de la LÍNEA DE SUBTRANSMISIÓN A 69 KV BOMBOIZA-GUALAQUIZA TRAMO 2.

CELEC EP TRANSELECTRIC construyó la subestación Bomboiza 230/69 kV, 33 MVA, ubicado en la parroquia Bomboiza del cantón Gualaquiza, desde la cual brindarán cuatro salidas en 69 kV para uso de la EERSSA una de las cuales servirá para alimentar la línea de subtransmisión, cuya extensión se realizará con el objeto de alimentar la subestación de distribución Gualaquiza.

La línea de subtransmisión Bomboiza-Gualaquiza tramo 2 tendrá una longitud aproximada de 10,5 kilómetros aproximadamente y es la continuación de la línea que arranca desde la subestación Bomboiza de propiedad de CELEC EP TRANSELECTRIC; llegará hasta la subestación Gualaquiza próxima a construirse por parte de la EERSSA.

2 DESCRIPCIÓN DE LA RUTA

2.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO. -

El proyecto se ubica el tramo comprendido al margen del eje vial de la Troncal Amazónica E45-E594 en el cantón Gualaquiza desde el sector San Miguel de Pumpuis (parroquia Bomboiza) hasta el sector Tunduli (parroquia Mercedes Molina); las coordenadas geográficas del punto de arranque se indican a continuación:

COORDENADA X: 772630,66
COORDENADA Y. 9616529,77

3°27'59.9"S 78°32'45.8"W

Enlace de la ubicación del proyecto: https://maps.app.goo.gl/Fu3NUz4LxdhicR1B8

2.2 TOPOGRAFÍA. -

Los trabajos de levantamiento topográfico fueron desarrollados al margen de la vía de la troncal amazónica.

3.2.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL TERRENO.

La línea se construirá de forma paralela a la vía de troncal amazónica, la cual llega hasta la ciudad de Gualaquiza. Luego del análisis del recorrido de la línea se determinó utilizar torres metálicas, postes de hormigón armado y postes metálicos en este tramo.

El terreno de la Subestación Gualaquiza se ubica de manera adyacente a la vía de la trocal amazónica (COORDENADAS 768475.06; 9620090.31 https://maps.app.goo.gl/R3ZFa6qPETfJ7zzY9) en la parroquia Mercedes Molina del cantón Gualaquiza de la provincia de Morona Santiago.

3.2.2.s CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE LA RUTA

Para definir la ruta de línea factible desde el punto de vista técnico y económico, se consideraron los siguientes aspectos fundamentales:

- Evitar que la línea de alto voltaje atraviese sobre viviendas.

- Ubicar el trazado propuesto en lo posible lo más cercano a las vías existentes de primer, segundo o tercer orden o caminos vecinales, lo que facilitará acceder a los sitios donde se instalarán las estructuras con el personal, materiales, herramientas y equipos.

- Evitar el paso por áreas con bosques, a fin de minimizar el desbroce de los árboles, disminuyendo el derecho de servidumbre para la construcción y mantenimiento.

- Seleccionar la ruta de forma que los puntos de implantación de las estructuras sean sitios de geología estables, evitando cruzar por zonas de posibles deslizamientos.

- Disminuir en lo posible cruces con alimentadores primarios a 13,8 - 22 kV existentes.

- Tratar de que las estructuras de soporte no requieran de tensores a tierra por cuanto estos elementos ocupan un espacio considerable produciendo conflictos en terrenos ubicados al margen de la vía de la Troncal Amazónica. Para evitar el uso de tensores se definió colocar estructuras autosoportantes mediante postes de hormigón armado, postes de acero y torres metálicas.

La ruta seleccionada se puede observar con mayor detalle en el plano del ANEXO 1.

3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LINEA

3.1 CONDUCTOR. -

La extensión de la línea de subtransmisión a 69 kV Bomboiza-Gualaquiza será de simple circuito, con el tipo y calibre de conductor que fue determinado por la EERSSA.

El conductor para el tramo será de aleación de aluminio, desnudo, tipo ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced), calibre 500 MCM, construido con un núcleo de alambres de aleación 6201-T81, rodeado con alambres de aleación 1350-H19.

La formación será: - Aluminio 1350: 18x3,19.
- Aleación 6201: 19x3,19.

Las características del conductor a utilizar son las siguientes:

Tipo	ACAR
Calibre	500 MCM
Composición	18/19
Diámetro (mm)	20,70
Sección total (mm^2)	253,35
Resistencia (Ohm/km)	0,1248
Peso (kg/m):	0,697
Tensión de rotura (kg)	6001,00
Módulo de elasticidad inicial (kg/mm^2)	4992,00
Módulo de elasticidad final (kg/mm^2)	6370,00
Coeficiente de dilatación lineal (1/ºC):	0,0000203014

El conductor será fabricado de acuerdo con las siguientes normas:

- ✓ ASTM B 230 Alambres de Aluminio 1350 H19 uso eléctrico.
- ✓ ASTM B 398 Aleación de Aluminio 6201 T81 uso eléctrico.
- ✓ ASTM B-524 Concentric-Lay-Stranded Aluminum Conductors, Aluminum Alloy Reinforced ACAR, 1350/6201.

Para atenuar las vibraciones en vanos largos, se deben instalar amortiguadores del tipo stockbridge, utilizando armaduras de protección en los puntos de suspensión de los conductores.

3.2 CABLE DE GUARDA. -

Debido a la importancia de este tipo de líneas, para mejorar su confiabilidad en la operación se tiene previsto el apantallamiento mediante la instalación de un cable de guarda, el mismo que de acuerdo con la recomendación de las Normas de diseño del ex INECEL debe ir colocado en la parte superior de las estructuras, de manera que el ángulo vertical que se forme entre este y los conductores (ángulo de protección o apantallamiento) no sea mayor a 30°.

Para el apantallamiento se utilizará cable OPGW de 24 fibras monomodo a fin de disponer de un medio propio y confiable de transmisión de datos. Las características del cable OPGW son las siguientes:

Las características físicas son las siguientes:

Tipo	OPGW
Sección total (mm^2)	78,9
Diámetro (mm)	12,00
Peso unitario (kg/m)	0,315
Peso específico ($kg/m/mm^2$	0,003992
Módulo elast.(kg/mm^2)	8501,00
Tensión de rotura (kg)	4036,00
Coeficiente de dilatación lineal (1/ºC):	0,0000172

El núcleo óptico estará formado por un soporte central dieléctrico y un grupo de tubos, reunidos y sujetos convenientemente, en configuración de hélice o SZ alrededor del soporte central. Cada tubo irá taponado con un gel hidrófugo, con las fibras de protección holgada. Las fibras dentro de cada tubo estarán coloreadas, no coexistiendo más de una fibra óptica de la misma coloración y los tubos protectores se diferenciarán por coloración distintas.

La envolvente metálica estará constituida por un tubo estanco y una corona de hilos de acero que impida el paso de la humedad a la vez que disminuya la resistencia eléctrica del cable. Encima de este tubo se colocará una corona de hilos de acero recubierto de aluminio, según UNE EN 61232. Dispuestos helicoidalmente a derecha confiriendo al cable las características mecánicas necesarias.

El cable en su aspecto exterior deberá presentar un cableado uniforme, brillante y limpio de jabones y grasas. Los alambres estarán perfectamente tensados.

La fibra debe cumplir con los requerimientos especificados en IEC 793 y 794, clase B o ITU-T Rec.G.652

La sujeción del cable OPGW a los postes y estructuras metálicas se realizará utilizando los siguientes accesorios:

- Conjunto de accesorios para retención pasante (dos extremos).
- Conjunto de accesorios para retención terminal.
- Conjunto de accesorios para suspensión.
- Grapas de bajada para cables OPWG para postes de hormigón.

Los accesorios como son los herrajes, las cajas de empalme, las grapas de bajada, los amortiguadores, herramientas etc., deben tener compatibilidad completa entre ellos y con el OPGW.

Para la conexión en la subestación Gualaquiza, se debe utilizar un Distribuidor óptico (ODF) para 24 fibras ópticas, tipo FC/UPC con 60 conectores, 60 pigtails y 80 manguitos termocontraíbles.

De igual forma que para los conductores de fase, para amortiguar las vibraciones se deberán instalar amortiguadores tipo stockbridge.

3.3 NIVEL DE AISLAMIENTO. -

Para las torres metálicas, los aisladores a ser utilizados serán de porcelana, del tipo suspensión, clase ANSI 52-3, con resistencia electromecánica mínima de 15000 libras, con acoplamiento “socket ball”. Los aisladores deberán tener sus partes metálicas de material ferroso y estarán protegidos adecuadamente contra la acción corrosiva de la atmósfera, mediante galvanizado por inmersión en caliente. El diámetro de los aisladores será de 273 mm y la distancia de fuga de 300 mm. En las cadenas los aisladores tendrán un espaciamiento unitario de 146 mm.

En las estructuras tipo urbanas se utilizarán aisladores "LINE POST" para montaje horizontal, base plana, de porcelana, para 69 KV, 3300 libras de cantilever max, distancia de fuga mínima de 2353 mm para contaminación alta.

Para el cálculo del nivel de aislamiento se utilizaron los siguientes datos:

Nivel de Voltaje (kV)	69
Altura sobre el nivel del mar h (m)	830
Número de estructuras:	123
Temperatura ambiente (°C):	33
Nivel ceráunico en días por tormenta en el año T:	50
Número de fallas aceptables (F):	1 por 50 km de S/T por año
Longitud de la L/ST (km):	10.5
Resistencia de puesta a tierra (ohmios):	15
Presión atmosférica b (cm de Hg)	67.03105742
Densidad relativa del aire δ	0,847618533
Voltaje pico:	56338.26408
Voltaje RMS	39837.16857
Coeficiente de sobrevoltaje por fallas Cf: (frecuencia industrial)	1.4
Coeficiente de sobrevoltaje de operación máxima Co:	1.05

Factor de corrección de la humedad H:	0.98
Factor de corrección de lluvia L:	0.95

Primeramente, realizamos el cálculo de la densidad relativa:

$$\delta = \frac{3.92xb}{273 + t}$$

$$\delta = \frac{3.92x67.03}{273 + 33}$$

$$\delta = 0{,}859$$

SOBREVOLTAJES A FRECUENCIA INDUSTRIAL.

Al voltaje pico de 56,34 kV se le aplica los coeficientes de sobrevoltajes por fallas y sobrevoltajes de operación máxima:

$$Vfi = 56.34 \times Cf \times Co = 56.34 \times 1.4 \times 1.05 = 82.82\ KV$$

Corrección probabilística: el aislamiento debe resistir con una probabilidad del 97%, considerando el número total de estructuras y para una desviación estándar del 5% del voltaje crítico.

Probabilidad	1	10	50	100	200	500
84.4%	1	1.8	2.6	2.9	3.1	3.4
97.7%	2	2.8	3.3	3.5	3.7	4.1
99.8 %	3	3.7	4	4.2	4.4	4.6

k=3.30815 para 123 estructuras.

$$CFO = \frac{V_s}{\left[1 - \left(\frac{\sigma}{\mu}\right) k\right]}$$

$$CFO = \frac{82.82}{[1 - 0{,}06x3{,}30815]}$$

$$CFO = 103{,}32\ kV$$

Corrección para condiciones atmosféricas.

$$V_c = \frac{CFOxH}{\delta xK}$$

$$V_c = \frac{103{,}32x0{,}98}{0{,}859x0{,}95}$$

$$V_c = \frac{101{,}2536}{0{,}81605}$$

$$V_c = 124{,}077\ kV$$

Conforme a la norma ANSI C29.1 se requieren tres aisladores de 10"x5$\frac{3}{4}$".

Corrección por espaciamiento en aire: el aislamiento debe resistir con una probabilidad del 99.8%, considerando el número total de estructuras y para una desviación estándar del 5% del voltaje crítico en condiciones secas.

k=4.2475 para 123 estructuras.

$$CFO = \frac{V_s}{\left[1 - \left(\frac{\sigma}{\mu}\right) k\right]}$$

$$CFO = \frac{103{,}32}{[1 - 0{,}06x4{,}2475]}$$

$$CFO = 138{,}656\ kV$$

Corrección para condiciones atmosféricas.

$$V_c = \frac{CFOxH}{\delta xK}$$

$$V_c = \frac{138{,}656 * 0{,}98}{0{,}859 * 0{,}95}$$

$$V_c = \frac{135{,}88}{0{,}816}$$

$$V_c = 166{,}51\ kV$$

Conforme a la norma ANSI C29.1 se requieren cuatro aisladores de 10"x5$\frac{3}{4}$".

SOBREVOLTAJES DE MANIOBRA.

Considerando un factor de sobrevoltaje de maniobra de 3 y una máxima tensión permitida en condiciones normales de +5%

$$KV_{c=} = \frac{1.05\sqrt{2}xkV_nK_t}{\sqrt{3}}$$

$$KV_{c=} = \frac{1.05\sqrt{2}x56.34x3}{\sqrt{3}}$$

$$KV_{c=} = 177{,}471$$

Corrección Probabilística: k=3.30815 para 123 estructuras.

$$CFO = \frac{V_s}{\left[1 - \left(\frac{\sigma}{\mu}\right) k\right]}$$

$$CFO = \frac{177{,}471}{[1 - 0{,}06 * 3{,}30815]}$$

$$CFO = 221{,}42 \ kV$$

Corrección para condiciones atmosféricas.

$$V_c = \frac{CFOxH}{\delta xK}$$

$$V_c = \frac{221{,}42x0{,}98}{0{,}859x0{,}95}$$

$$V_c = \frac{216{,}99}{0{,}816}$$

$$V_c = 265{,}92 \ kV$$

Conforme a la norma ANSI C29.1 se requieren cinco aisladores de 10”x5$\frac{3}{4}$”.

ANÁLISIS DE APANTALLAMIENTO.

El ángulo de apantallamiento no deberá superar los 30°, mismo que viene a ser el ángulo entre la vertical que pasa por el punto de amarre del cable de guarda y la recta que va desde este punto al punto de amarre de primera cruceta superior.

Según las normas del Ex INECEL para alturas de hasta 28 metros, el ángulo de apantallamiento puede ser de 30°.

SOBREVOLTAJE DE ORIGEN ATMOSFÉRICO.

Ng = Número de descargas atmosféricas por km y por año
Ns = Número de descargas atmosféricas por 100 km por año
N= Nivel ceráunico = 20
h= Altura promedio del cable de guarda: 18.67 m
α= Ángulo de apantallamiento: 30°
P1= Probabilidad que falle el aislamiento
F= Número de fallas en la L/ST
I= Corriente del rayo
C= Factor de acoplamiento
Zn= Impedancia característica del cable de guarda aprox. 500 ohmios
a= Distancia entre el conductor y el cable de guardia
b= Distancia entre el conductor y la imagen del cable de guardia
R= Resistencia de pie de torre
L= Longitud de la línea =10.5 km

Se realizaron varios análisis partiendo del número de aisladores que forman la cadena de retención determinando que el número de 5 aisladores da la factibilidad para cumplir con el número de fallas de la línea que en ningún caso supero el valor de 1.

$$N_g = 0.025\ (N)^{1.3}$$

$$N_g = 0.025\ (20)^{1.3}$$

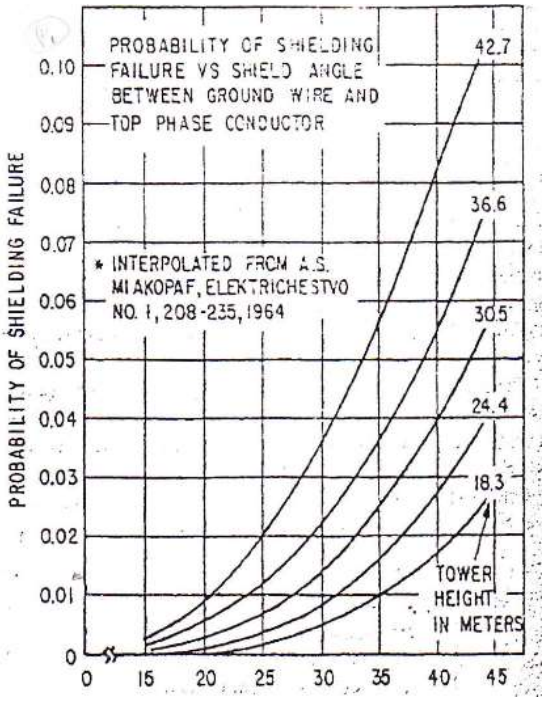
$$N_g = 1{,}228$$

$$N_s = N_g x \left(\frac{4h}{10}\right)$$

$$N_s = 1{,}228x \left(\frac{4x18.67}{10}\right)$$

$$N_s = 9{,}170$$

Probabilidad de falla de apantallamiento (P1):



Para un ángulo de apantallamiento de 30° y una altura de 24 metros se obtiene un P1=0,0085

$$F1 = P1xN_s$$

$$F1 = 0.0085x9{,}170$$

$$F1 = 0.0{,}078$$

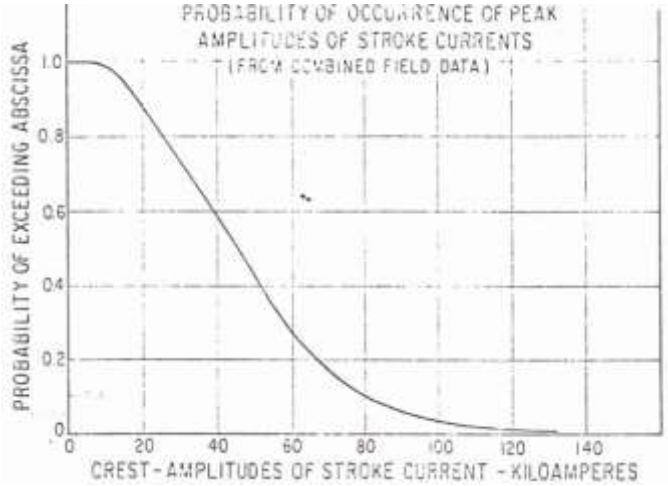
$$F2 = F - F1$$

$$F2 = 2 - 0.078$$

$$F2 = 1.743$$

$$P_2 = \frac{2.9x1.743}{9{,}170}$$

$$P_2 = 0{,}5512$$



Corriente de descarga pico: I=45 KA

$$c = \frac{50}{Z_n} L_n \frac{b}{a}$$

$$c = \frac{50}{500} L_n \frac{44}{3.50}$$

$$c = \frac{50}{500} L_n \frac{44}{3.50}$$

$$c = 0.253$$

$$V = (1 - c)ZKI$$

$$V = (1 - 0.253)x15x1x45$$

$$V = 504{,}129\ \ kV$$

Corrección probabilística:

k=3.30815 para 123 estructuras.

Se considera una desviación estándar del 2%

$$CFO = \frac{504{,}129}{[1 - 0{,}02x3{,}30815]}$$

$$CFO = 539{,}84\ kV$$

Corrección por características atmosféricas.

$$V_c = \frac{CFOxH}{\delta xK}$$

$$V_c = \frac{536{,}74x0{,}98}{0{,}859x0{,}95}$$

$$V_c = \frac{529{,}04}{0{,}816}$$

$$V_c = 648{,}34\ \ kV$$

Conforme a la norma ANSI C29.1 se requieren seis aisladores de 10”x5$\frac{3}{4}$”.

CONTAMINACIÓN.

La distancia de fuga mínima que se debe considerar para cada disco aislador en un ambiente de contaminación dado está dada por una recomendación de la norma IEC 60071-2, citada en la norma IEEE Std.1313.2-1999, la cual se resume en la tabla:

Table 7—IEC 60071-2 recommended creepage distances

Pollution level	Examples of typical environments	Minimum specific creepage distance mm/kV
I Light	— Areas without industries and with low density of houses equipped with heating plants — Areas with low density of industries or houses but subjected to frequent winds and/or rainfall — Agriculture areas[a] — Mountainous areas — All these areas shall be situated at least 10 km to 20 km from the sea and shall not be exposed to winds directly from the sea[b]	27.7
II Medium	— Areas with industries not producing particularly polluting smoke and/or with average density of houses equipped with heating plants — Areas with high density of houses and/or industries but subjected to frequent winds and/or rainfall — Areas exposed to wind from the sea but not too close to coasts (at least several kilometers distant)[b]	34.6
III Heavy	— Areas with high density of industries, and suburbs of large cities with high density of heating plants producing pollution — Areas close to the sea or in any case exposed to relatively strong winds from the sea[b]	43.3
IV Very heavy	— Areas generally of moderate extent, subjected to conductive dusts and to industrial smoke producing particularly thick conductive deposits — Areas generally of moderate extent, very close to the coast and exposed to sea spray or to very strong and polluting winds from the sea — Desert areas, characterized by no rain for long periods, exposed to strong winds carrying sand and salt, and subjected to regular condensation	53.7

[a]Use of fertilizers by spraying or the burning of crop residues can lead to a higher pollution level due to dispersal by wind.
[b]Distances from seacoast depend on the topography of the coastal area and on the extreme wind conditions.

Se considera que la zona de estudio tiene un nivel 1 de contaminación por lo tanto se escogió el valor de 27.7 mm/kV.

Cada aislador posee una distancia de fuga de 296 mm, el número de aisladores será de siete por lo que se cumple con el requerimiento de la distancia de fuga.

3.4 HERRAJES Y ACCESORIOS. -

Estos elementos corresponden a aquellos necesarios para la fijación de los aisladores a la estructura y al conductor, a los de fijación del cable de guarda a la estructura y a los elementos de protección eléctrica. Todos estos elementos

deberán ser de un material resistente a la corrosión[1], serán de diseño adecuado a su función mecánica y eléctrica y deberán ser prácticamente inalterables a la acción corrosiva de la atmósfera.

Los pernos, adaptadores, grilletes, grapas de suspensión y retención para el cable de guarda, pernos U, adaptadores tipo "Y", adaptadores tipo socket, rótulas y otros serán de acero o de hierro protegidos contra la corrosión mediante galvanizado por inmersión en caliente. Los materiales deben ser de tal manera que no se presente peligro de destrucción por corrosión galvánica.

Las uniones de los conductores serán del tipo compresión.

Las grapas de suspensión y anclaje para ser usadas con el cable de guarda (OPGW), serán de hierro galvanizado.

Las grapas de suspensión y de anclaje para los conductores serán construidas con el cuerpo de aluminio, los pasadores y los elementos de ajuste serán de acero galvanizado.

Las grapas de retención (anclaje) serán del tipo pernadas y la resistencia de estos elementos será igual o superior a la resistencia electromecánica de los aisladores utilizados. En las grapas de suspensión, los conductores estarán protegidos mediante varillas de armar.

Tanto los aisladores como los accesorios de sujeción a la estructura deberán ser diseñados de forma que puedan ser reemplazados usando equipo convencional para trabajo en línea energizada.

3.5 ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Para la construcción de esta línea se considera la utilización de postes de hormigón armado, postes de acero y estructuras metálicas reticuladas, de acuerdo con el siguiente detalle.

3.5.1 Postes de Hormigón Armado. -

[1] En forma general se limita al uso de materiales galvanizados.

Las estructuras serán montadas en postes de hormigón cuya sección será rectangular y geometría tronco piramidal, los que deberán ser vibrados, de una resistencia del hormigón a los 28 días f´c de 350 kg/cm2, con acero de refuerzo de una fluencia fy de 4200 kg/cm2.

El detalle de estos postes para ser ensamblados se adjunta en el Anexo Nro. 6.

La resistencia de los postes de hormigón de las estructuras establecida en la tabla de ubicación y cálculo electromecánico, cumplen los requerimientos mecánicos de la línea.

Las dimensiones de los postes a ser utilizados en la construcción de las líneas son las que se indican en el siguiente cuadro:

ALTURA TOTAL (m)	21,00
EMPOTRAMIENTO (m)	2,60
ALTURA LIBRE	18,40
DIMENSIONES CARA ANCHA:	
PUNTA (m) (A1)	0,23
CONICIDAD (mm/m)	17,20
BASE (m)	0,59
SUPERFICIE EXPUESTA AL VIENTO m2	7,14
CENTRO DE GRAVEDAD (A)	7,95
DIMENSIONES CARA ANGOSTA:	
PUNTA (m) (A1)	0,16
CONICIDAD (mm/m)	14,00
BASE (m)	0,45
SUPERFICIE EXPUESTA AL VIENTO m2	5,31
CENTRO DE GRAVEDAD (A)	6,20

3.5.2 Postes metálicos (acero)

Los postes serán diseñados de acuerdo con las normativas IEEE, ASCE y ANSI aplicables a estructuras metálicas para líneas de subtransmisión. El acero utilizado deberá cumplir con las normas ASTM A572 Grado 50 o equivalente.

El poste estará constituido por segmentos de sección tubular cónica unidos mediante bridas y pernos de alta resistencia (ASTM A325 o equivalente). Se incluirá un sistema de puesta a tierra adecuado, conforme a los requerimientos de protección contra descargas atmosféricas.

Los postes metálicos serán de tipo autosoportante con una altura total de 21 metros, el poste estará constituido por acero estructural de alta resistencia, galvanizado en caliente conforme a la norma ASTM A123 y tendrá una tensión de rotura de 5000 kg.

El poste deberá ser instalado sobre una cimentación diseñada de acuerdo con los estudios de suelos de la zona.

Se deberá garantizar la alineación y verticalidad del poste durante la instalación. Los pernos y uniones serán ajustados conforme a las especificaciones de torque recomendadas por el fabricante.

Se realizarán pruebas de resistencia estructural y de calidad del galvanizado en fábrica. Se exigirá certificación de materiales y cumplimiento de normas de diseño.

3.5.3 Torres metálicas. -

Para los sitios de difícil acceso, sitios con cambio de dirección pronunciada como se indica en los planos, se utilizarán torres autosoportantes de acero galvanizado, de forma tronco piramidal, construidas por perfiles de acero galvanizado resistente a la corrosión, apernados entre sí. Cada torre tendrá su conexión eléctrica a tierra como medida de protección.

Las torres serán diseñadas de modo que no se presenten deformaciones permanentes en sus elementos metálicos. Será de diseño adecuado para soportar todas las cargas longitudinales y transversales que se determinen en el cálculo

mecánico, considerando los factores de sobrecarga establecidas en las normas de diseño. El diseño final de las torres será de cuenta del constructor, quien presentará los planos definitivos para aprobación por parte de fiscalización.

La altura de las torres está en función de las distancias de seguridad de los conductores con respecto al nivel del piso, de forma que se garantiza una altura superior a 8 metros sobre el piso.

En los archivos anexos se indica el tipo de torres a utilizar y la altura al punto de amarre del conductor más bajo, en tanto en el Anexo Nro. 3 se indican la geometría y las distancias entre conductores e hilo de guardia.

Las torres serán construidas con los siguientes elementos: dispositivos de protección antitrepado en cada una de las partes de la estructura, para evitar que personas no autorizadas suban a la estructura; y escalones para trepado, para facilitar la subida al personal que realice la construcción y el mantenimiento de la línea.

3.5.4 Cimentaciones para estructuras de tipo poste. -

Todos los postes metálicos irán en su parte inferior con hormigón simple f'c=210 Kg/cm2. Para los postes de hormigón armado, en la base se colocará una loseta de hormigón, de dimensiones 80x80 cm y 15 cm de espesor.

3.5.5 Cimentaciones para torres o estructuras autosoportantes. -

Para el armado de las torres metálicas, se utilizarán fundaciones tipo cilindro de hormigón armado y del tipo monobloque. Las fundaciones serán realizadas de forma que no se presenten deformaciones permanentes en los elementos de la torre. Serán diseñadas para que puedan resistir todos los esfuerzos a los que estará sometida la estructura con los factores de sobrecarga establecidos en la norma, con un factor de seguridad adicional mínimo del 40% para el arrancamiento y del 20% para otras reacciones.

3.6 PUESTA A TIERRA. -

El cable de guarda y las estructuras serán conectados a tierra, para lo cual se utilizará cable de cobre desnudo, semiduro, calibre No. 2/0 AWG.

Las varillas copperweld estarán protegidas contra la oxidación por una capa exterior de cobre permanentemente fundida al alma de acero de 254 micras de espesor; el conductor de cobre se acoplará las varillas mediante el uso de suelda exotérmica tipo cadweld plus 45.

Se deberá verificar que la resistencia de puesta a tierra a pie de cada estructura, utilizando los materiales indicados, no sobrepase el valor de 10 ohmios. De requerirse, en la construcción se podrá incrementar el número de varillas, si es que la resistividad es muy elevada o en su defecto se pueden agregar productos químicos.

La puesta a tierra en los postes se realizará a través de la armadura de hierro, por lo a una distancia aproximada de 50 cm de la punta se colocará una placa con perno de 5/8”, la que servirá para sujetar al conector para poner a tierra el cable de guardia. En una distancia de 20 cm por debajo de la profundidad de empotramiento, el fabricante del poste colocará otra placa con un perno de 5/8”, mediante el cual se ajustará un conector de cobre en el que se alojará el cable de puesta a tierra.

3.7 TENSORES. -

Para los tensores se utilizará cable de acero galvanizado, de ½” pulg. de diámetro, de 12.100 libras de resistencia a la rotura, grado SIEMENS MARTIN.

Las varillas de anclaje serán de acero galvanizado de 3/4" de diámetro y 9' de longitud. Los templadores también serán galvanizados y adecuados para poder regular su tensión mecánica sin recurrir a la torsión del cable.

Los bloques de anclaje serán de Hº Aº de dimensiones 80x80x20 cm. con agujero central para varilla de 3/4".

3.8 AVISOS DE PELIGRO Y NUMERACIÓN. -

Se colocarán los avisos de peligro en todas las estructuras de la línea. El aviso consistirá en deberá una chapa enlozada y esmaltada al fuego, con fondo blanco y el dibujo de una calavera. Detrás de la calavera, formando cruz se representará un rayo y un hueso. Llevará además la inscripción ““PELIGRO DE MUERTE – ALTO VOLTAJE”. Los dibujos serán de color rojo. Las dimensiones mínimas de la chapa son de 0,25 x 0,35 m y se instalarán a una altura no menor a 4 metros.

Para identificación, todas las estructuras serán numeradas en forma secuencial de tal manera que las cifras sean legibles desde el suelo, lo cual facilitará su localización.

4 CÁLCULO MECÁNICO.

4.1 ESTADOS A CONSIDERAR. -

Según las normas del ex INECEL para líneas de subtransmisión a 69 KV., se definen dos zonas que son:

Zona I: que corresponde a la parte baja del territorio nacional hasta una altura de 1000 m.s.n.m.

Zona II: que corresponde básicamente a la meseta andina y comprende terrenos desde los 1.000 hasta los 3.500 m.s.n.m.

De acuerdo con esta clasificación, la línea de subtransmisión Bomboiza - Gualaquiza tramo 2 objeto del presente estudio, se ubica en la zona I, por lo tanto, el estudio se realizará con los parámetros definidos exclusivamente para este tipo de zona.

De acuerdo con las normas del ex INECEL, para el cálculo mecánico se consideran los siguientes estados climatológicos:

Estado I.- Este estado corresponde a la mínima temperatura, define la flecha mínima y una de las condiciones para definir la tensión máxima de los conductores y cables de guarda. Las condiciones para el cálculo son:

- Zona II
- Temperatura: -5° C
- Viento: 0 km/h

Para este estado, se recomienda que la tensión mecánica del conductor no exceda el 33% de la tensión de rotura, en tanto que para el cable de guarda la tensión máxima debe ser máxima del 30% de la tensión de rotura. Estos aspectos deberán ser verificados en los resultados que se obtengan del cálculo mecánico, al aplicar la ecuación de cambio de estado.

Estado II.- Define una condición de máxima carga mecánica de los conductores y cable de guarda; pero no asegura una condición de flecha máxima. Las condiciones para el cálculo mecánico son:

- Zona I
- Temperatura: 15° C
- Viento: 60 km/h

Los porcentajes de las tensiones máximas admisibles son iguales a las señaladas en el estado I.

Estado III.- Corresponde a la condición de operación normal de la línea, conocido como el estado de todos los días o "EDS" (EVERY DAY STREES). Es el que define las tensiones y flechas normales, tanto para los conductores de fase como para el cable de guarda. Las condiciones que se aplican para el cálculo son:

- Zona I
- Temperatura: 15° C
- Viento: 0 km/h.

Para la aplicación de la ecuación de cambio de estado para el cálculo de tensiones, se establece al estado III como de condiciones iniciales, con lo que se llegan a

determinar los valores para el resto de los estados. Para este proyecto, la tensión mecánica de partida en el estado III (EDS), se establece para los conductores en el 20% de la tensión de rotura.

Estado IV.- Define la flecha máxima y tensión mínima de los conductores y cables de guarda, corresponde a la máxima temperatura. Las condiciones de cálculo para este estado son:

- Zona I
- Temperatura: 50° C
- Viento: 0 km/h

4.2 CÁLCULO MECÁNICO DE LOS CONDUCTORES Y CABLE DE GUARDA (OPGW). -

Los conductores y cable de guarda (OPGW) a utilizar en la construcción de la línea de subtransmisión Bomboiza-Gualaquiza tramo 2, cambian el valor de la tensión horizontal de acuerdo con las condiciones de temperatura y viento, comportamiento que es evaluado por medio de la ecuación de cambio de estado, que confronta dos fenómenos físicos de dilatación térmica y comportamiento elástico que se dan en los conductores.

Para el cálculo de las tensiones mecánicas y flechas a los que están sometidos los conductores y cables de guarda, se utiliza la ecuación de cambio de estado, la cual viene expresada por la siguiente fórmula:

$$T_2^3 + K_1 T_2^2 - K_2 = 0$$

De donde K_1 y K_2 vienen dados por las siguientes expresiones:

$$K_1 = ES\alpha(t_2 - t_1) - T_1 + \frac{V^2 P_1^2 SE}{24 T_1^2}$$

$$K_2 = \frac{V^2 P_2^2 SE}{24}$$

Donde:

T_2 = Tensión mecánica final del conductor (kg)
T_1 = Tensión mecánica inicial del conductor (kg)
E = Módulo de elasticidad (kg/mm^2)
S = Área de la sección transversal del conductor (mm^2)
α = Coeficiente de dilatación lineal (1/ºC)
t_1 = Temperatura inicial del conductor (ºC)
t_2 = Temperatura final del conductor (ºC)
V = Vano (m)
P_1 = Peso del conductor (kg/m)
P_2 = Peso del conductor más la carga de viento o hielo (kg/m)

El método para el cálculo de la ecuación de cambio de estado utilizado es el de Newton Rhapson, en donde:

$$X_{i+1} = X_i - \frac{f(X_i)}{f'(X_i)}$$

Es decir que:

$$X_{i+1} - X_i = \frac{{X_i}^3 + K_1 {X_i}^2 - K_2}{3{X_i}^2 + 2K_1 X_i} = \Delta X$$

La solución de la ecuación es X_{i+1} siempre que $\Delta X < 10^{-3}$

Tomando como condiciones iniciales a las correspondientes al estado III (EDS), se calculan los valores de tensiones finales para los restantes estados para los conductores y cable de guarda, considerando los vanos reguladores correspondientes a los distintos tramos del proyecto. Los valores se indican en el Anexo 5.

Las flechas de los conductores y cable de guarda se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$f = a(cosh\ cosh\ \frac{V}{2a} - 1)$$

En donde:

f = flecha del conductor (m)
V = Longitud del vano en metros (x/2)
a = Parámetro de la línea en metros

$a = \frac{T}{P}$ T = Tensión a la que está sometido el conductor (kg)
P = Peso del conductor (kg/m)

Los resultados del cálculo de flechas para los diferentes estados se indican en el Anexo 5.

4.3 Condiciones a las que están expuestas las Estructuras. -

Las estructuras están expuestas a cargas transversales, verticales y longitudinales, las que se detallan a continuación:

4.3.1 CARGAS TRANSVERSALES:

Presión del viento:

Esta línea está diseñada para soportar presiones producidas por vientos cuya velocidad no superen los 90 km/hora, conforme lo exigen las Normas del ex INECEL para la Zona I, que es donde se desarrolla esta línea.

La presión del viento sobre los conductores, cable de guarda y la estructura viene dada por la siguiente fórmula:

$$p_v = Kv^2$$

Donde: p_v = Presión del viento en kg/m^2
v = Velocidad del viento en km/h.
K = Constante que depende de la forma de la superficie expuesta al viento.

K = 0,0048 para superficies cilíndricas
K = 0,0076 para superficies planas

La carga que debe soportar la estructura está dada por la siguiente fórmula:

$$T_v = p_v \mathrm{L}_v \phi$$

T_v = Carga sobre la estructura debida al viento (Kg)
p_v = Presión del viento sobre el conductor (Kg/m^2)
L_v = Longitud del vano viento (m), que es igual a la semisuma de los vanos adyacentes.
φ = diámetro del conductor (m).

Carga angular:

Si una estructura se encuentra en un ángulo de línea, tendrá una carga debido a la tensión mecánica del conductor que es igual a:

$$T = 2T_0 sen\frac{\alpha}{2}$$

Donde: T_0 = Tensión de tendido del conductor.
α = ángulo de la línea.

Cargas verticales:

Las estructuras estarán soportando el peso de los conductores y cable de guarda y de los aisladores y herrajes, siendo igual a:

$$V = P_o L_p + V_1 + V_2$$

P_0 = Peso del conductor por unidad de longitud (m)
L_p = Longitud del conductor comprendido entre los puntos más bajos de los vanos adyacentes a la estructura. Este es el llamado vano peso en metros.
V_1 = Peso de los aisladores (kg)
V_2 = Peso de los herrajes y amortiguadores (kg)

4.3.2 CARGAS LONGITUDINALES:

Estas cargas se deben a los comportamientos elásticos de los conductores y sus propiedades de dilatación térmica.

Su valor está determinado de acuerdo con la diferencia de longitudes de los vanos adyacentes a la estructura. Esto es, si los vanos adyacentes son iguales, no existirá carga longitudinal; pero si son diferentes, a medida que cambie la temperatura del conductor, la estructura deberá soportar un desequilibrio longitudinal. Para obtener los valores de estas cargas mecánicas se requiere resolver la ecuación de cambio de estado para distintas temperaturas.

Cargas eventuales:

a. **Sobrecarga vertical:** Considerando las actividades de montaje y mantenimiento, las estructuras se han diseñado para que una cruceta pueda

soportar adicionalmente a las cargas verticales, el peso del conductor correspondiente a su peso.

b.- Rotura del conductor: Las estructuras de retención están diseñadas para que las crucetas soporten en el caso de una eventual rotura del conductor, es decir que deberá soportar una carga longitudinal correspondiente a la tensión mecánica máxima del conductor.

4.4 Factores de seguridad

Para el diseño mecánico de las torres metálicas autosoportantes a instalar en la línea, a las cargas descritas anteriormente se aplican los siguientes factores de seguridad:

Cargas debidas al viento:	1,5	
Cargas normales debido al ángulo y al peso:	1,4	
Cargas eventuales:		1,2
Desequilibrio longitudinal:	1,4	
Sobrecarga longitudinal:	1,2	
Terminal:	1,4	
Montaje:	1,2	
Tendido:	1,4	

5 ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES. -

Las estructuras, deberán ser capaces de sostener a los conductores, crucetas, aisladores, etc. y además resistir la acción de las fuerzas longitudinales, transversales y verticales ejercidos por los conductores, cables de guarda y la acción del viento.

Las estructuras en postes y las torres metálicas que se utilizarán fueron seleccionadas teniendo presente factores como el vano que deben soportar, el ángulo de la línea, condiciones del terreno, etc. Las estructuras están diseñadas para ofrecer la resistencia mecánica apropiada, la separación entre conductores y la distancia libre entre el suelo y el conductor más bajo.

Para este proyecto, y teniendo en cuenta todas estas consideraciones, se utilizan estructuras en un poste de hormigón con alturas de 21 metros, y torres metálicas reticuladas.

5.1.1 Generalidades sobre postes de hormigón armado. -

Para las estructuras se utilizarán postes de hormigón armado vibrado de sección rectangular, con una geometría especial tronco-piramidal con alvéolos a lo largo de los mismos; la carga de ruptura de éstos dependerá de los esfuerzos que ellos deben soportar dependiendo de cada tipo de estructura en la que se los utilice. Se deberá también tener presente que los esfuerzos determinarán que el poste sea colocado para resistirlos ya sea con su cara ancha o con su cara angosta paralela al eje de la línea, de aquí, las definiciones de esfuerzo útil transversal y longitudinal.

Se define como esfuerzo útil, al que es capaz de soportar el poste con el coeficiente de seguridad exigido (se recomienda un coeficiente igual a 2, cuando se aplica a 0,25 m de la punta), y cuando sobre el poste actúa simultáneamente un viento en la misma dirección del eje del poste.

Se debe prestar también particular atención, a todas las fases de manipulación en el transporte y montaje, empleando los medios apropiados para evitar el deterioro del poste.

5.1.2 Esfuerzos angulares. -

En los puntos de deflexión de la línea, las estructuras se hallan sujetas a una carga transversal adicional debida al ángulo de deflexión, para estos casos, a excepción de las estructuras autosoportantes (torres), se usarán tensores que contrarresten estos esfuerzos.

5.1.3 Distancia del conductor inferior al suelo. -

La distancia mínima del conductor al suelo es otra exigencia de seguridad que hay que respetar, y en terreno plano, ha sido otra limitación de la longitud del vano que se puede obtener. Por otro lado, en terrenos ondulados o quebrados se han aprovechado de estas ondulaciones para conseguir vanos más grandes.

6.2. SEPARACIÓN ENTRE CONDUCTORES. -

Debido a la oscilación de los conductores, estos deben guardar restricciones límites en cuanto al vano adyacente y en cuanto a la inclinación de la cadena debido al viento.

La separación mínima entre conductores fija el vano máximo que puede tener una determinada estructura y, la norma del ex INECEL establece valores mínimos de separación entre conductores para los vanos máximos. Este ha sido uno de los principales criterios para determinar la geometría de las estructuras.

6.2.1. Distancia entre fases.-

La distancia mínima admisible entre fases en el centro del vano se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{ff} = k\sqrt{f + L_c} + \frac{kV}{150\delta}$$

Donde:

D_{ff} = Distancia horizontal entre fases (m)
k = 0,75 para separación vertical
0,65 para separación horizontal
f = Flecha del conductor en metros calculada a 60° C de temperatura y sin viento, correspondiente al vano máximo hacia cualquier lado de cada tipo de estructura.
L_c = longitud de la cadena de aisladores en metros, en caso de anclaje $L_c = 0$
kV = Voltaje entre fases (kV).
δ = densidad relativa del aire.

La flecha se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f = a(cosh\ cosh\ (\frac{x}{2a}) - 1)$$

Donde: a = parámetro de ubicación
x = longitud del vano

6.2.2. Angulo de la cadena.-

Es el ángulo de desviación de la cadena (φ) y se calcula sólo para las estructuras de suspensión con cadenas de aisladores y no para las estructuras de retención o anclaje.

Para las estructuras utilizadas en este proyecto, dicho ángulo viene dado por la siguiente fórmula:

$$Tan\phi = \frac{2Tsen(\frac{\alpha}{2}) + V_m P_h}{V_g P + \frac{P_c}{2}}$$

Donde:

φ = Angulo de desviación de la cadena, grados
T = Tensión en kg. correspondiente al vano regulador al cual pertenece la estructura, en el estado I.
α = Angulo de la línea, grados
V_m = Vano medio en m.
P_h = Pv * d en kg. /m, en donde:
Pv = Presión del viento sobre el conductor en kg/m^2
d = Diámetro del conductor en m.
Vg = Vano gravante en m.
P = Peso unitario del conductor en kg/m
Pc = Peso de la cadena de aisladores en kg

Cuando el valor de este ángulo sea tal que la distancia a masa sea inferior a 48 cm., en la condición más desfavorable, se tiene que cambiar de estructura y utilizar aisladores tipo LINE POST o hacerle una estructura tipo retención.

6.2.3. Distancia del conductor a la estructura.-

La distancia mínima de los conductores a la estructura, tomando en consideración el ángulo de la cadena, de determina por:

$$D_c = 0.1 + \frac{V_{ff}}{150}$$

En donde V_{ff} es la tensión nominal entre fases en kV

Esta condición exige un ángulo máximo admisible de desviación transversal, que se limita por la distancia de seguridad.

6.2.4. Distancia entre conductores y cables de guardia

La distancia vertical del cable de guardia al conductor más alto depende del ángulo de apantallamiento y viene dado por la siguiente fórmula:

$$D_{hg} = \frac{D_{ff}}{tg\alpha} - L_c$$

α = ángulo de apantallamiento.

6.3. ELECCION DE ESTRUCTRURAS

Se puede decir que la estructura es adecuada, cuando ésta ofrezca la resistencia mecánica apropiada, las separaciones entre conductores y la distancia libre al suelo del conductor inferior requeridas, para el conductor y vano dados y, cuando los aisladores escogidos provean el aislamiento más correcto.

6.3.1. ESTRUCTURAS METALICAS RETICULADAS (TORRES)

Los tipos de estructuras metálicas autosoportantes (torres) usadas para este tipo de línea, se consideran los siguientes:

Suspensión liviana (SL). - A usarse para sitios en alineación y ángulos hasta de 2°, destinadas a mantener el conductor dentro de cada una de las alineaciones a la altura requerida.

Anclaje pesado (AP). - Para ser usada en sitios donde el ángulo de deflexión de la línea es mayor a 25°.

La definición del tipo de estructuras es determinada por los siguientes parámetros:

- Vano viento
- Vano peso
- Vano adyacente

- Ángulo de la línea
- Ángulo de inclinación de la cadena.

En base a lo indicado, se procedió a la selección de los tipos de estructuras (torres) a utilizar en la línea Bomboiza-Gualaquiza tramo 2. En el ANEXO 3 se indica las cargas a las que están sometidas cada uno de los tipos de estructuras.

También se incluyen los planos de la geometría de las estructuras metálicas a utilizar y de las cargas que deben soportar. Para la elaboración del presupuesto, el rubro para las torres metálicas incluye el diseño mecánico, construcción y montaje, que deberá considerar el constructor de la línea. Adicionalmente, el constructor deberá realizar el diseño definitivo de las fundiciones para las torres metálicas, cuya cimentación se sugiere sea del tipo “pila” para los vanos largos y tipo monobloque para las torres en vanos cortos.

Las estructuras metálicas serán reticuladas de acero con perfiles de espesor mínimo de 4mm, los que serán galvanizados por inmersión en caliente. Los elementos serán remachados o atornillados, no podrán realizarse taladros sobre flancos de perfiles de una anchura inferior a 35 mm. Para el caso de los perfiles de la base de la estructura que se prolonguen dentro del terreno sin recubrimiento de hormigón el espesor de los perfiles enterrados no será menor de 6mm. Los tornillos y/o remaches deben ser de diámetro mínimo de 12mm.

6.3.2. ESTRUCTURAS EN POSTES

Para la línea a 69 kV Bomboiza-Gualaquiza tramo 2 se instalarán los siguientes tipos de estructuras:

Estructuras de suspensión: Son empleadas en alineaciones y sirven únicamente para sostener los conductores y cable de guarda.

Estructuras de anclaje: Son empleadas para limitar los esfuerzos longitudinales de carácter excepcional.

Estructuras terminales: Son empleadas para resistir los esfuerzos de todos los conductores y el cable de guarda, en sentido longitudinal.

7. LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

7.1. DISTANCIAS DE SEGURIDAD. -

La altura de las estructuras y su ubicación, será la necesaria para que los conductores con su máxima flecha vertical, no puedan ser accesibles sin medios especiales desde el suelo, viviendas ni otros lugares generalmente accesibles a las personas; es decir, que se debe cumplir con las distancias mínimas de seguridad, siendo las que a continuación se detallan.

Para la determinación de las distancias de seguridad se considera la zona 1, por cuanto el recorrido de la línea es sobre terrenos que están a alturas inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar.

7.1.1. Distancias mínimas del conductor al suelo. -

La distancia mínima del conductor al suelo viene determinada por:

$$D_s = 6 + \frac{V_{ff}}{150}$$

Donde: D_s = Distancia mínima al suelo
V_{ff} = Voltaje entre fases (69 kV)

Para el presente proyecto se ha considerado que la altura de las estructuras sea la necesaria para que los conductores con su máxima flecha vertical, queden situados por encima de cualquier punto del terreno a una altura mínima de 8 m.

7.1.2. Distancias mínimas en cruces con líneas existentes. -

La línea de menor tensión será considerada de baja tensión, es decir que la línea de subtransmisión a 69 kV deberá pasar siempre por encima de los alimentadores primarios a 22 kV.

La distancia mínima viene dada por la fórmula: $d_m = 1,5 + (V_{ff}/150)$, en donde V_{ff} es la tensión nominal en kV de la línea inferior, sin embargo, para este proyecto las distancias verticales mínimas admisibles en cruces con las líneas a 22 kV se han establecido en 3 m.

Se considera que la línea inferior está a la temperatura ambiente y para la línea a 69 kV (superior), la flecha máxima final corresponde a la condición de transmisión de la potencia de emergencia de la línea.

La mínima distancia vertical entre los conductores de ambas líneas en las condiciones más desfavorables no debe ser menor a:

$1,5 + (V + L1 + L2)/150$ [m]

Donde: V es la tensión nominal en kV de la línea superior.

L_1 es la longitud en metros, entre el punto de cruce y la línea más próxima de la estructura superior.

L_2 es la longitud en metros desde el punto de cruce a la línea más próxima de la estructura inferior.

7.1.3. Distancia mínima a construcciones.-

Distancias verticales de seguridad (DV)

Según la regulación 018/18 de ARCONEL las distancias verticales en función del voltaje, para conductores y partes rígidas energizadas se determinan con la siguiente expresión:

$$D_v = D_0 + \big(0.01 * (V_n - 22)\big) * (1 + 0.01 * f_c)$$

Donde
D_v = Distancia vertical
D_0 = Distancia vertical de seguridad (tomada de la tabla 3 de la regulación 018/18)
V_n = Voltaje fase-fase nominal del conductor
f_c = Factor de corrección a partir de los 1000 m sobre el nivel del mar ($f_c = 0$ si es menor a 1000 msnm; $f_c = 3$ desde 1000 msnm hasta 1300 msnm, $f_c = 6$ desde 1300 msnm hasta 1600 msnm y, así sucesivamente, por cada 300 m)

Para la línea de subtransmisión descrita en esta memoria técnica, las distancias verticales de seguridad son:

- 4.07 m Distancia Vertical arriba o abajo de techos o proyecciones no accesibles a personas.
- 4.47 m Distancia Vertical arriba o abajo de techos, cornisas y balcones, fácilmente accesibles a personas

Distancias horizontales de seguridad (DH)

Cuando no se considera el efecto del viento las distancias mínimas de seguridad horizontal de conductores energizados en reposo a edificios, anuncios publicitarios, carteleras, chimeneas, antenas de radio y televisión, tanques y otras instalaciones excepto puentes se determinan, utilizando la siguiente expresión:

$$H_R = 2.3 + 0.01 * (V_n - 22)$$

Donde:
H_R = Distancia horizontal
V_n = Voltaje fase-fase nominal del conductor

Cuando los conductores son desplazados de su posición, por una presión de viento, se utiliza la siguiente expresión:

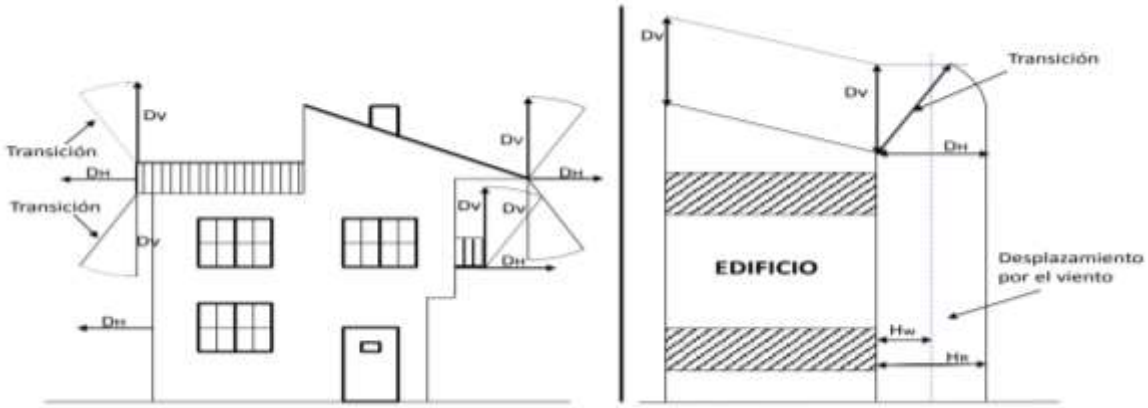
$$H_W = 1.4 + 0.01 * (V_n - 22)$$

Para la línea de subtransmisión descrita en esta memoria técnica, las distancias verticales de seguridad son:

- 2.77 m sin considerar el efecto del Viento.
- 1.87 m considerando el efecto del Viento.

Transición entre distancia horizontal (DH) y vertical (DV)

La distancia horizontal (DH) y la distancia vertical (DV), representan la separación entre el conductor y la edificación, como se ilustra a continuación:



Donde:
D_v = Distancia de seguridad vertical
D_H = Distancia de seguridad horizontal, la cual corresponderá a HR o Hw en función del viento H_R = Distancia mínima de seguridad horizontal requerida cuando el conductor está en reposo
H_W = Distancia mínima de seguridad horizontal requerida cuando el conductor es desplazado hacia la edificación por acción del viento

7.1.4. DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA VÍAS DE TRÁNSITO

Estas distancias se refieren a la altura mínima que deben guardar los conductores y cables de líneas aéreas respecto a vías de tránsito de personas y vehículos, vías

férreas y superficies con agua. Estas distancias se determinan utilizando la siguiente expresión:

$$D_v = D_0 + \left(0.01 * (V_n - 22)\right) * (1 + 0.01 * f_c)$$

Donde

D_v=Distancia vertical

D_0= Distancia de seguridad (tomada de la tabla 7 de la regulación 018/18 ARCONEL)

V_n= Voltaje fase-fase nominal del conductor

f_c= Factor de corrección a partir de los 1000 m sobre el nivel del mar

Para la línea de subtransmisión descrita en esta memoria técnica, las distancias verticales de seguridad son:

Vías de tránsito de vehículos 8 m

Aceras o caminos accesibles sólo a peatones 7 m

7.1.5. Aproximación con árboles

La distancia entre partes bajo tensión y árboles situados debajo y lateralmente a la línea, en los cuales existe la posibilidad de escalamiento por trabajos de explotación (por ejemplo, frutales), deben alcanzar por lo menos a 3,7 metros con conductores inclinados con viento.

La distancia entre las partes bajo tensión de la línea y árboles situados por debajo y lateralmente a la línea, en los cuales no exista la posibilidad de acceso por trabajos de explotación, debe alcanzar por lo menos los siguientes valores: 2,7 metros para árboles debajo de conductores no inclinados y 1,2 metros para árboles al costado y conductores inclinados.

7.2. CRITERIOS PARA LA LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS

Los criterios que se tomaron en consideración para la ubicación de estructuras son los siguientes:

- Que el número total de estructuras sea el menor posible, procurándose al mismo tiempo, reducir a un mínimo el número de estructuras de alturas diferentes, de aquellas escogidas como básicas.

- Evitar, siempre que sea posible, el uso de estructuras especiales, tratando de resolver el problema, con el uso de estructuras normales.

- Procurar uniformizar la distribución de estructuras, de forma que se obtengan vanos del mismo orden. Se trató de evitar vanos adyacentes muy desiguales, haciéndose un estudio para cada caso en particular.

- Se evitó la ubicación de las estructuras cerca de viviendas y puntos inestables.

7.3. LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS EN EL PLANO.

Para la localización de las estructuras en el perfil, se dibujan las plantillas en base a la ecuación de la catenaria anteriormente indicada, luego se pasa sobre el perfil con el objeto de realizar la distribución de las mismas, utilizando las escalas 1:2500 horizontal y 1:500 vertical.

Las plantillas se elaboran para cada vano regulador, considerando la máxima flecha que puede tomar el conductor (curva máxima), que corresponde al estado IV, con lo cual se definirá la altura mínima que quedará entre el conductor y el suelo.

Una vez ubicados todos los puntos de apoyo, con el objeto de determinar que no se tengan tiros hacia arriba en las estructuras ubicadas en las partes bajas del perfil, se elabora la curva de mínima flecha o curva fría, correspondiente a las condiciones del estado I, la cual se coloca entre cada tres apoyos (dos vanos) y se verifica que esta curva no esté sobre el apoyo intermedio.

En los planos del Anexo 1 se muestran las estructuras con la ubicación georeferenciada en el sistema SAM WGS84, y en el Anexo 4 se muestra la distribución de las estructuras en el perfil.

7.4. ALTURAS DE LOCALIZACIÓN.

Como altura de localización, se puede definir a la altura desde el nivel del suelo hasta el punto de amarre del conductor de la fase más baja.

Adicionalmente, para postes se tienen las siguientes definiciones, las que son de utilidad en los diferentes cálculos:

a.) Altura de empotramiento (Em). - Se define como:

$$Em = (h/10) + 0.5 \quad [m]$$

donde h es la altura total del poste en metros.

b.) Distancia vertical desde la punta hasta el conductor más bajo (dv).- Esta altura depende del tipo de la estructura, además depende de la configuración del circuito, pudiendo ser éste, horizontal, vertical o triangular.

c.) Altura útil h_1.- Se define como:

$$h_1 = h - Em - dv$$

donde:

- h = altura total del poste [m].
-Em= empotramiento, definido anteriormente [m].
-dv = distancia vertical desde la punta, hasta el conductor más bajo [m].

7.5. PARÁMETROS DE LOCALIZACIÓN. -

Para la localización de las estructuras, se utilizan plantillas con el objeto de realizar la distribución de las mismas, y de trazar la catenaria del conductor en el plano, a la misma escala utilizada para el perfil longitudinal, es decir:

Escala Horizontal: 1:2500
Escala Vertical: 1:500

Las plantillas se elaboran para cada vano regulador, para las siguientes curvas:

7.5.1. Curva Máxima. -

Esta curva, define la flecha máxima que puede tomar el conductor en el estado IV; además, define la altura mínima del conductor al suelo. Dicha curva se basa en las siguientes condiciones para el cálculo de la ecuación de cambio de estado:

Estado III o estado de partida.
Estado IV o estado final.

La tensión mecánica inicial o de partida será igual al 20% de la tensión de rotura.

Para el diseño de esta línea, se dibujaron plantillas para cada uno de los vanos reguladores, en base a la ecuación de la catenaria, que es la que determina la flecha:

$$f = a(cosh\, cosh\, \frac{V}{2a} - 1)$$

Donde:

f = flecha del conductor (m)
V = Longitud del vano en metros (x/2)
a = Parámetro de la línea en metros

$$\mathrm{a} = \frac{T}{\mathrm{P}}$$

T = Tensión en el estado IV para los diferentes vanos (kg)
P = Peso del conductor (kg/m)

7.5.2. Curva de Distancia Mínima. -

Esta curva se traza paralela a la curva máxima a una distancia vertical de 6 metros. Para el presente proyecto, con el fin de dar mayor seguridad a la línea, se tomó una distancia de 8 metros.

7.5.3. Curva Mínima o Curva Fría. -

Las condiciones para elaborar esta curva por medio de la ecuación de cambio de estado son:

Estado III o estado de partida.

Estado I o estado final.

La tensión de partida T_1 será igual al 20% de la tensión de rotura.

7.6. VANOS MEDIO, GRAVANTE Y REGULADOR. -

7.6.1. Vano Medio. -

Es la media aritmética de los vanos adyacentes, y se calcula por:

$$V_m = \frac{V_a + V_b}{2}$$

Donde: V_m = Vano medio (m)
V_a = Vano anterior (m)
V_b = Vano posterior (m)

7.6.2. Vano Regulador. -

En un tramo, las cadenas de suspensión no pueden absorber las diferencias de tensado, por las diferentes longitudes, desniveles y cambios de temperatura de sus diferentes vanos. Por esto, se admite las tensiones de los conductores iguales en todos los vanos, al de un vano teórico que se conoce como "Vano Regulador".

La tabla de regulación se calcula de tal manera que la tensión de los cables sea uniforme a lo largo del tramo. Este vano regulador viene dado por la expresión:

$$V_r = \sqrt{\frac{\sum_1^n \quad V_n^3}{\sum_1^n \quad V}}$$

En las tablas del Anexo Nro. 5 se indican los vanos reguladores calculados para cada tramo, así como las tensiones para estos.

7.6.3. Vano Gravante o Vano Peso. -

Es la longitud del vano considerada para determinar la acción del peso que los cables transmiten al apoyo, y representa la distancia vertical que hay entre los vértices de las catenarias de los vanos contiguos al apoyo.

El vano gravante para estructuras de suspensión se calcula mediante:

$$V_g = V_m + P\left(\frac{H_a}{V_a} + \frac{H_b}{V_b}\right)$$

Siendo: V_g = Vano gravante
V_m = Vano medio
P = Parámetro en frío del tramo
H_a= Diferencia de altura entre los puntos de amarre del conductor de la estructura y su contigua anterior

H_b = Diferencia de altura entre los puntos de amarre del conductor de la estructura y su contigua posterior

Para estructuras de retención y terminales, se deben considerar los vanos gravantes hacia adelante y atrás:

$$V_{ga} = \frac{V_a}{2} + P_a\left(\frac{H_a}{V_a}\right)$$

$$V_{gb} = \frac{V_b}{2} + P_b\left(\frac{H_b}{V_b}\right)$$

$$V_g = V_{ga} + V_{gb}$$

Donde: Vga = Vano atrás
Vgb = Vano adelante
Vg = Vano gravante total

7.7. CÁLCULO DE TENSIONES MECÁNICAS Y FLECHAS PARA TENDIDO. -

En base a los vanos reguladores, se procedió a calcular las tensiones mecánicas y flechas para el tendido de conductores. El cálculo se realizó para diferentes temperaturas y los resultados se indican en los cuadros del Anexo Nro. 5.

7.8. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO ÚTIL DE LOS POSTES. -

Para este cálculo se consideran las siguientes hipótesis de cargas, establecidas por las normas del EX INECEL:

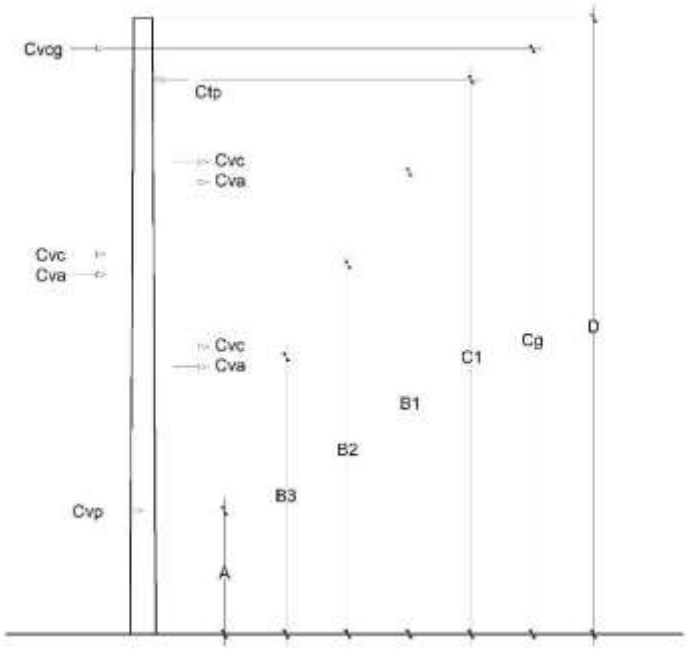
Hipótesis 1A (normal). - Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de los conductores, sobre las estructuras, crucetas, accesorios, aisladores y sobre una longitud de conductores y cable de guarda igual a la semisuma de los vanos adyacentes.

Hipótesis 1B (normal). - Carga del viento en la dirección de los conductores, sobre el soporte, crucetas, accesorios, aisladores y cargas debido al desequilibrio longitudinal.

7.8.1. Esfuerzos Transversales. -

7.8.1.1. Estructuras de alineación.-

Hipótesis 1A (Normal): Carga del viento máximo perpendicular a la dirección de los conductores, sobre las estructuras (postes), crucetas, accesorios, aisladores y una longitud de conductores y cable de guarda igual a la semisuma de los vanos adyacentes. Los parámetros influyentes en el cálculo del esfuerzo útil por hipótesis 1A, se muestran en el esquema simplificado de la siguiente figura.



Donde:

C_{vcg} = Carga del viento en el cable de guarda, kg
C_{tp} = Carga transversal del poste (EU), kg
C_{va} = Carga del viento en la cadena de aisladores, kg
C_{vc} = Carga del viento en los conductores de fase, kg
C_{vp} = Carga del viento sobre el poste, kg

A = Distancia desde el suelo al centro de gravedad del poste, m
Bi = Distancia desde el suelo hasta la fase "i" (m). i= 1, 2, 3
Cg = Distancia desde el suelo hasta el cable de guarda, m
D = Distancia desde el suelo hasta la punta del poste, m
C1 = Distancia desde el suelo hasta el punto donde se produce el esfuerzo útil (EU), m
El valor de "A", se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = (D/3)\frac{2A1 + A2}{A1 + A2}$$

En donde:

A1 = ancho del poste en la punta, m. Este es un dato del fabricante.
A2 = (conicidad * D/1000 + A1), m.

La conicidad está dada en mm/m, la cual deberá será la misma para todos los postes a utilizar en la obra.

Planteando momentos respecto al punto de empotramiento y despejando el esfuerzo útil, se tiene para la hipótesis A:

$$EU_{1A} = \frac{LP_V(d_c B + d_g C_g) + C_{va}B + P_{vp}S_p A}{C1} \qquad \text{(kg)}$$

Donde:

B = B1+B2+B3, m
L = Vano medio, m
EU = Esfuerzo útil, kg
d_c = Diámetro del conductor, m
d_g = Diámetro del cable de guarda, m
P_v = Presión del viento sobre los conductores e hilo de guardia, kg/m².
P_{vp} = Presión del viento sobre el poste, kg/m²

$$P_v = 0{,}0048\text{v}^2 \qquad P_v p = 0{,}0076\text{v}^2$$

S_p = Superficie equivalente del poste, m²

S_p = (D/2) (A1 + A2)

Si N_{pos} es el número de postes y N_{cg} el número de cables de guarda, la misma fórmula anterior se puede emplear en forma generalizada, para las estructuras de 2 o más postes, tomando la siguiente forma:

$$EU_{1A} = \frac{LP_V(d_c B + N_{cg} d_g C_g) + C_{va} B + N_{pos} P_{vp} S_p A}{N_{pos} C1} \qquad \text{(kg)}$$

7.8.1.2. Estructuras en ángulos.-

Hipótesis 2A (Normal): Carga resultante de los tiros máximos de los conductores y cable de guarda y simultáneamente, en la dirección de esta resultante, carga del viento sobre los soportes (postes), crucetas, accesorios, aisladores y sobre una longitud de conductores y cable de guarda igual a la semisuma de los vanos adyacentes.

En este caso la fórmula de cálculo es la siguiente:

$$EU_{2A} = \frac{LP_V(d_c B + N_{cg} d_g C_g) + C_{va} B + 2BT_c sen(\alpha/2) + 2C_g T_g sen(\alpha/2) + N_{pos} P_{vp} S_p A}{N_{pos} C1}$$

En donde:

Tc = Tensión crítica en los conductores
Tg = Tensión crítica en los cables de guarda
α = Angulo de la línea

Debido a que el poste presenta una cara ancha y una angosta, el esfuerzo útil definido por las ecuaciones anteriores influye en su compra. Si el poste es usado con su cara angosta en la dirección transversal al eje de la línea, el poste se comprará con un esfuerzo útil igual al definido por las ecuaciones anteriores;

mientras que, si se lo utiliza con su cara ancha, se comprará con un valor igual al anterior dividido para 0,6.

7.8.2. Esfuerzos Longitudinales. -

7.8.2.1. Estructuras de alineación.-

Hipótesis 1B (Normal): Carga del viento en la dirección de los conductores, sobre el poste, crucetas, accesorios, aisladores y cargas debido al desequilibrio longitudinal. El desequilibrio longitudinal es el 8% de las tracciones máximas para estructuras autosoportantes y 2% para estructuras no autosoportantes; para el cálculo se consideran como estructuras autosoportantes.

Para estructuras de suspensión en alineación se aplican la siguiente fórmula:

$$EU_{1B} = \frac{0.08BT_c + 0.08N_{cg}C_gT_g + N_{pos}P_{vp}S_pA}{N_{pos}C1}$$

En donde:

Tc = Tensión crítica en los conductores
Tg = Tensión crítica en los cables de guarda

7.8.2.2. Estructuras en ángulos.-

Hipótesis 2B (Normal): Carga resultante de los tiros máximos de los conductores y cable de guarda y cargas debidas al desequilibrio longitudinal y simultáneamente, en la dirección normal a esta resultante, carga del viento sobre los soportes (postes), crucetas, accesorios, aisladores.
Para estructuras de suspensión en ángulo, se aplica la siguiente fórmula:

$$EU_{2B} = \frac{2BT_c sen(\alpha/2) + 2C_gT_g sen(\alpha/2) + 0.08BT_c + 0.08N_{cg}C_gT_g + N_{pos}P_{vp}S_pA}{N_{pos}C1}$$

Debido a que se utilizarán tensores, se considera el 20% de la tensión crítica de los conductores y cable de guarda.
cruces

7.8.3. Verificación de las Cargas Verticales. -

En las estructuras de suspensión, retención y terminales se debe verificar que la suma de las cargas verticales ejercidas por:

- Tensores.
- Vano gravante.
- Operarios.
- Cadena de aisladores.
- Herrajería.

No supere 10 veces el esfuerzo útil de los postes.

Para los cálculos, el peso debido a operarios se ha estimado en 250 kg; mientras que el peso de la cadena de aisladores y herrajería se considera despreciable frente a las otras cargas.

7.9. DIAGRAMA DE CARGAS PARA ESTRUCTURAS METALICAS. -

Para cada uno de los tipos de estructuras metálicas a utilizarse en esta línea se procedió a calcular las cargas verticales, transversales y longitudinales a las que estarán sometidas, para las siguientes hipótesis:

Hipótesis Normal: Viento máximo a 90°
Hipótesis Normal: Viento máximo a 45°
Hipótesis Normal: Viento máximo a 0°
Hipótesis: Sobrecarga vertical
Hipótesis: Desequilibrio longitudinal

Los resultados se indican en el ANEXO 3. Estas cargas deben ser consideradas por el fabricante de las estructuras metálicas. Adicionalmente el constructor debera presentar su propio estudio de las cargas mecánicas de las estructuras.

8. CÁLCULO PUESTA A TIERRA, PARAMETROS ELECTRICOS, CAIDAS DE VOLTAJE Y PERDIDAS.

8.1. RESISTIVIDAD DEL SUELO. -

Las propiedades eléctricas del suelo son en sí mismas de interés e importancia, tal es el caso de la resistividad, factor determinante en la resistencia de cualquier electrodo a tierra. Es también de interés el estudio de la resistividad en sí mismo y en la forma en que esta varía, con el propósito de obtener la información necesaria de la naturaleza del subsuelo.

Los principales factores que determinan la resistividad del suelo son:

- Tipo de suelo.
- Composición química de las sales disueltas.
- Contenido de humedad.
- Efecto de la temperatura.
- Tamaño y distribución del grano del material.
- Compactación y Presión.

Para el diseño de la puesta a tierra, se efectuaron mediciones de la resistividad a lo largo del eje de la línea, obteniéndose de esta forma una gráfica de la resistividad del terreno en función de la distancia.

8.2. RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA. -

La estructura física de los electrodos de una toma a tierra puede presentar diferentes configuraciones, según sea el caso. Puede constar de una placa enterrada o una varilla hincada en el terreno, o de un conjunto de varillas enterradas e hincadas en el terreno. Los conductores de conexión a tierra serán de cobre desnudo, semiduro, calibre No. 2/0 AWG.

Se debe limitar la resistencia de puesta a tierra a 10 Ω como máximo. Para lograr tal objetivo, y debido a los diferentes valores de la resistividad del terreno, se utilizará las diferentes disposiciones de toma a tierra, para conseguir dicha resistencia exigida por la norma.

8.3. DISPOSICIÓN Y CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA. -

Los tipos más utilizados de puesta a tierra son:

- Varillas verticales.
- Contrapeso o antena.
- Varilla verticales y malla con conductor de cobre.

Se seleccionará uno de estos tipos de puesta a tierra, de acuerdo con el valor obtenido de resistividad durante las mediciones realizadas.

8.3.1. Varillas verticales. -

El valor de la resistencia de puesta a tierra está dado por:

$$R = \frac{\sigma}{2\pi L} ln\ ln\ \frac{2L}{A}$$

Siendo:

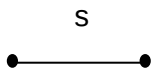
R = Resistencia de puesta a tierra en ohmios (Ω)
σ = Resistividad en ohmios.m (Ω.m)
L = Longitud de la varilla en m.
A = Radio equivalente de la varilla en m.

En las siguientes figuras se presentan las diferentes combinaciones que se pueden dar:

Una sola varilla:

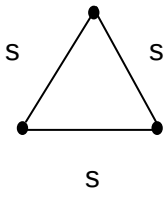
A = a

Dos varillas:



$$A = \sqrt{as}$$

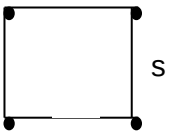
Tres varillas:



$$A = \sqrt[3]{as^2}$$

Cuatro varillas:

$$A = \sqrt[n]{aS_{12}S_{14}S_{42}.....S_{1n}}$$



$$A = \sqrt[4]{\sqrt{2}as^3}$$

a = radio de cada varilla (m).
A = radio equivalente de las varillas en m.
s = separación entre varillas en m.

8.3.2. Contrapeso o antena. -

$$R = \frac{\sigma}{\pi L}\left(\ln\frac{2L}{\sqrt{4ad}} - 1\right)$$

Para d «L, donde:

L = Longitud del conductor en m.
a = Radio del conductor en m.
d = Profundidad de enterramiento en m.

El conductor que será utilizado para este sistema de puesta a tierra de cobre desnudo, calibre 2/0 AGW, enterrado a una profundidad no menor a 50 cm.

8.3.3. Configuración en Anillo (malla). -

Válida para una profundidad mayor a 0,5 metros

$$R = \frac{\sigma}{6.6D} \ln \frac{4D}{r}$$

Siendo:
D = Diámetro del anillo (m)
r = Radio del conductor del anillo (m)

Para este tipo de puesta a tierra se utilizará conductor de cobre calibre 2/0 AGW, enterrado a una profundidad no menor a 50 cm.

8.3.4. Sistema de puesta a tierra a utilizar. -

El cable de guarda y las estructuras serán puestas a tierra, para lo cual se utilizará conductor de cobre desnudo, semiduro, calibre No. 2/0 AWG, varillas copperweld de 2,40 m de longitud por 5/8” de diámetro.

El conductor de cobre desnudo será de tipo semi duro, calibre # 2/0 AWG, será fabricado en base a las normas ASTM B2, B3 y B8 o similares.

Las varillas copperweld estarán protegidas contra la oxidación por una capa exterior de cobre permanentemente fundida al alma de acero de 254 micras de espesor; el

conductor de cobre se acoplará a las varillas mediante el uso de suelda exotérmica tipo cadweld plus 45.

Se deberá verificar que la resistencia de puesta a tierra a pie de cada estructura, utilizando los materiales indicados, no sobrepase el valor de 10 ohmios. De requerirse, en la construcción se podrá incrementar el número de varillas, si es que la resistividad es muy elevada o en su defecto se pueden agregar productos químicos.

8.4. CALCULO DE PARAMETROS ELECTRICOS

8.4.1. Cálculo de la resistencia

Según tablas el valor de la resistencia en corriente alterna a una temperatura de 75°C y una frecuencia de 60 Hz el conductor a ser usado tiene una resistencia de 0.149 Ohm/km, con este valor se procedió a calcular la resistencia serie a una temperatura de 60°C con la siguiente expresión:

$$R_{acT2} = R_{acT1} \times (1 + \Delta t \times \alpha)$$

Donde:

R_{acT1}
$= Resistencia\ en\ corriente\ alterna\ a\ la\ temperatura\ inicial\ del\ conductor\ en \frac{ohmios}{km}$

R_{acT2}
$= Resistencia\ en\ corriente\ alterna\ a\ la\ temperatura\ final\ del\ conductor\ en \frac{ohmios}{km}$

$$\Delta t = Variación\ entre\ la\ temperatura\ T1\ y\ la\ T2\ en\ ℃$$

$$\alpha = Coeficiente\ de\ dilatación\ lineal\ en\ ℃^{-1}$$

El coeficiente de dilatación lineal del material a una temperatura de 60°C es $23 * 10^{-6}\ °C^{-1}$. Con estos datos se obtiene un valor de 0.14905 Ω/km.

8.4.2. Cálculo de la reactancia

Para el cálculo de la inductancia serie se utilizó la siguiente expresión:

$$L = 2 \times 10^{-7} ln \frac{Deq}{Ds}$$

Donde:

$$Deq = Espaciamiento\ equilátero\ equivalente\ de\ la\ línea.$$

$$Ds = Radio\ medio\ geométrico\ del\ conductor.$$

$$L = Inductancia\ en\ H/m$$

$$Deq = \sqrt[3]{d1 \times d2 \times d3}$$

d1, d2, d3, son las distancias entre fases de la estructura de la línea.

La reactancia inductiva se calculó con la siguiente expresión:

$$X_L = 2 \times \pi \times 60 \times L$$

El GMR del conductor es 0.00854 m

$$Deq = 6.4m$$

Con estos valores se determinó un valor para la reactancia inductiva serie por fase de 0.0004988 Ω/m equivalente a 0.4988 Ω/km.

8.4.3. Cálculo de CAPACITANCIA Y SUSCEPTANCIA CAPACITIVA EN DERIVACIÓN

Se debe calcular la capacitancia al neutro de la línea, para lo cual se utilizó la siguiente expresión:

$$Cn = \frac{2 \times \pi \times k}{ln\left(\frac{Deq}{r}\right)}$$

Donde:

$$k \quad = Permitividad\ del\ espacio\ libre\ 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$$

$$Deq \quad = Espaciamiento\ equilátero\ equivalente\ de\ la\ línea.$$

$$r \quad = Radio\ del\ conductor\ .$$

$$Cn \quad = Capacitancia\ en\ F/m$$

$$Deq = \sqrt[3]{d1 \times d2 \times d3}$$

d1, d2, d3, son las distancias entre fases de la estructura de la línea.

La reactancia capacitiva se calculó con la siguiente expresión:

$$Xc = \frac{1}{2 \times \pi \times 60 \times C}$$

$$Deq = 6.4m$$

El radio del conductor según tablas es r = 0.008963 metros.

Con estos valores se determinó un valor para la reactancia capacitiva en derivación por fase al neutro de 3, 13454 × 10^8 Ω.m equivalente a 0.313 MΩ.km.

La susceptancia capacitiva es el inverso de la reactancia capacitiva, por lo tanto, para la línea el valor es de 3.19×10^{-9} siemens/m equivalente a 3.19 µsiemens/km.

Mgs. Eduardo Mauricio Samaniego Rojas

GERENTE DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN (E)

Sr. Ing. David Efrén Palacios Mora

Superintendente de Ingeniería y Construcción (E)

Sr. Ing. Erik Francisco Jaramillo León

Ingeniero 1 Gerencia de Ingeniería y Construcción