ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Quito Ecuador

Linea de transmisión Nayón - Cumbaya

«TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE INGENIERIA ELECTRICA DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL»

Fausto Fernández Salvador

Quito Mayo de 1964

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

QUITO - ECUADOR

LINEA DE TRANSMISION
NAYON - CUMBAYA

TESIS APROBADA POR:

ING. ARTURO MORA V.
DIRECTOR

Quito, Mayo de 1964.

002171

LINEA DE TRANSMISION NAYON-CUMBAYA

ANTEPROYECTO.-

1.- Descripción del Proyecto y justificación.

2.- Selección de la Potencia.

3.- Voltaje y número de circuitos.

4.- Selección del conductor más económico.

5.- Estructuras de soporte.- Distancia entre conductores.- Vano económico.

6.- Caída de tensión (Regulación) Pérdidas.

DISEÑO ELECTRICO DE LA LINEA.-

1.- Disposición de los conductores.

2.- Aislamiento de la línea.

3.- Sistema de Protección.

4.- Características Eléctricas: Impedancia, Capacitancia, Resistencia, Corrientes de Carga.

5.- Voltaje de salida y llegada. Desplazamiento angular.

6.- Análisis de la línea con diferentes cargas.

DISEÑO MECANICO.-

1.- Tipos de torres.

2.- Esfuerzos.- Dimensiones, etc.

3.- Flechas.

4.- Localización final.

5.- Vibración.

Lista de Materiales y Accesorios.

Presupuesto final.

INDICE DE MATERIAS

	Pag. No.
Consideraciones Generales	1
Descripción del Proyecto	1
Selección de la Potencia	3
Pérdidas de altura en el túnel	4
Pérdidas en las tuberías	5
Pérdidas en las turbinas, generadores y transformadores	5
Programa de instalación	6
Línea de Transmisión NAYON-CUMBAYA	9
Voltaje	9
DISEÑO MECANICO	
Número de circuitos	9
Selección del conductor	13
Estructuras de soporte	18
Aislamiento de la línea	21
Longitud del vano	23
Presión del viento	26
Módulo de elasticidad	27
Coeficiente de expansión lineal del cable .	28
Cálculo de flecha máxima	28
Flecha máxima para vano de 150 mts.	31
" " " " " 200 "	31
" " " " " 250 "	32
" " " " " 300 "	32
Localización de las torres	37
Preparación de la plantilla	38
Balanceo de los aisladores	43
Distancia entre el conductor y la torre ...	45

Pag. No.

Distancia entre conductores 46

Línea de protección a tierra 47

ESTRUCTURAS DE SOPORTE
Esfuerzos sobre las torres 50

Diseño de la línea basado en descargas eléctricas 55

Nivel de aislamiento 58

Vibración 62

Varillas de armada 63

Amortiguadores de vibración 64

Aisladores 65

Varillas de tierra 66

DISEÑO ELECTRICO
Características eléctricas 69

Resistencia - Reactancia 69

Impedancia - Conductancia 70

Susceptancia - Admitancia 71

Regulación y Pérdidas 74

Porcentaje de Regulación 75

Pérdidas de Potencia 75

Comportamiento de la línea bajo diferentes cargas 75

Cálculo de las constantes A-B-C 78

Desplazamiento angular 81

Corrientes de carga 83

Corona 83

Impedancia para Secuencia Cero 85

Cálculo de las flechas de montaje para conductor 477 MCM ACSR 91

Pag. No.

Cálculo de los valores W/8T 94

Cálculo de la flecha de montaje para el conductor 477 MCM, vanos especiales 95

Cálculo de la flecha de montaje para el cable de tierra de 3/8" 99

Cálculo de los valores W/8T para cable de tierra 102

Cálculo de la flecha de montaje para cable de tierra, vanos especiales 103

Especificaciones para la provisión de conductores y accesorios 107

Especificaciones para la provisión de torres de acero 119

Especificaciones para la provisión de Seccionadores Tripolares 128

-.-

INDICE DE CUADROS

	CUADRO No.
Demanda Máxima de Energía 1962-1972	1
Conductor Económico	2
Vano más Económico	3
Calculo de los valores para el trazado de la plantilla de flecha máxima	4
Balanceo de Aisladores para torres de tangente	5
Flecha máxima para cable de acero - Vano regular 250 mts.	6
Vanos Verticales y Horizontales de la Línea de Transmisión	7
Materiales y Accesorios de la Línea de Transmisión	8
Flechas de Montaje para conductor ACSR 477 MCM	9
Flechas de Montaje para cable de tierra de 3/8"	10
Flechas de Montaje para Vanos Especiales	11
Presupuesto para Conductores y Accesorios	12
Presupuesto para Torres de Acero Presupuesto para Seccionadores Tripolares	13
Presupuesto de Ingeniería, Supervisión y Mano de Obra	14
Costo Total de la Línea de Transmisión .	14

-.-

INDICE DE PLANOS

	PLANO No.
Plano General	E-1
Perfil de la Línea de Transmisión	E-2
Plantilla de flecha máxima	E-3
Torres de transmisión	E-4
Esfuerzos sobre las estructuras de soporte	E-5
DISEÑO ELECTRICO Factor de Corrección debido al acoplamiento	E-6
DISEÑO ELECTRICO Descargas a la torre	E-7
DISEÑO ELECTRICO Descargas al medio vano	E-8
DISEÑO ELECTRICO Curva para determinar las probabilidades de descarga si el nivel de protección al medio vano es mayor de dos veces el nivel de protección en la torre .....1...	E-9
Accesorios para conductores	E-10
Accesorios de la línea de tierra	E-11
Diagramas	E-12

-.-

CONSIDERACIONES GENERALES

Entre los futuros desarrollos hidroeléctricos para aumentar la energía disponible para el consumo de la ciudad de Quito, el Proyecto NAYON ocupa el primer lugar; habiéndose realizado estudios preliminares de topografía tendientes a localizar la línea del túnel de aducción y el sitio de la casa de máquinas.

DESCRIPCION DEL PROYECTO.- El agua utilizada en mover las turbinas de la Central de Cumbayá, desemboca en el río Machángara -tributario del San Pedro- a través de un canal de descarga de unos 250 mts. de longitud.

En este canal se han diseñado y construído las estructuras de toma para llevar el agua hasta el sitio de la casa de máquinas, por medio de un túnel de aproximadamente 3 kms. de longitud.

El agua, luego de ser utilizada en la Central de Nayón, sería devuelta al río San Pedro.

Dadas las condiciones favorables del recorrido del río San Pedro que realiza un sinnúmero de curvas en el sector de la Central de Cumbayá, aumentando de este modo la altura disponible para una caída de agua en el sitio escogido para la Central de Nayón, se puede obtener una potencia aproximada de 30.000 KW.

La sección del túnel deberá ser calculada para el caudal máximo de agua que pase por la Central de Cumbayá, o sea 36 m^3/seg.

Debido a la pequeña longitud del túnel y a las condiciones topográficas del terreno, sería antieconómica la construcción de un reservorio de regulación; razón por la cual, esta Central debería trabajar de acuerdo a las fluctuaciones de carga de la Central de Cumbayá.

Si se lleva a efecto el Proyecto "La Mica", tendiente a aumentar el caudal del agua del río San Pedro en la temporada de sequía, se beneficiaría la Central de Nayón, además de las Centrales de los Chillos, Guangopolo y Cumbayá.

La línea de transmisión que en muchos casos constituye la causa para desechar la construcción de una Central Hidroeléctrica debido a su alto costo, tendría una longitud aproximada de 3½ kms. o sea la distancia entre las Centrales de Cumbayá y Nayón, ya que desde Cumbayá se utilizarían los cuatro circuitos previstos para llevar la energía de las Centrales Cumbayá y Nayón.

Se puede afirmar que debido a las circunstancias favorables mencionadas anteriormente, el Proyecto Nayón es realizable desde los puntos de vista económico y técnico.

Como un primer capítulo a desarrollarse en esta Tesis tenemos, el estudio sobre la selección de la potencia de la Central de Nayón.

SELECCION DE LA POTENCIA.- Para el cálculo de la línea de transmisión es necesario establecer la potencia máxima entregada por los transformadores de elevación, tomando en cuenta las pérdidas producidas en las diferentes etapas de conversión y que pueden resumirse en las siguientes:

1) Pérdidas de altura en el túnel

2) Pérdidas en las tuberías de presión

3) Pérdidas en las turbinas

4) Pérdidas en los generadores

5) Pérdidas en los transformadores

PERDIDAS DE ALTURA EN EL TUNEL.- Luego de diferentes cálculos se ha llegado a establecer que el túnel podría tener una sección circular de 4,5 mts. de diámetro interior, y una velocidad del agua de 2,43 mts./seg. para una pendiente igual a 0,0008; con un caudal máximo de 36 m^3/seg.

La longitud del túnel ha sido establecida en 2.793,8 mts.

Siendo las pérdidas de altura iguales a:

2.793,8 x 0,0008 = 2,235 mts.

La cota de la solera del túnel en el sitio de la bocatoma es:

2.216,5 mts.

La cota al final del túnel sería:

2.216,5 - 2,235 = 2.214,265 mts.

Nivel del agua en el Canal de Descarga Nayón: 2.115.50

PERDIDAS EN LAS TUBERIAS.- Para una longitud aproximada de 180 mts. en dos tuberías de 2,5 mts. de diámetro; v = 3,67 mts/seg. las pérdidas de carga debido a la altura serían de 1,06 mts.

En otras palabras la caída neta sería igual a:

98,765 - 1,06 = 97,705 mts.

PERDIDAS EN TURBINAS, GENERADORES Y TRANSFORMADORES

Para este cálculo se partirá de valores promedios de rendimientos de los equipos arriba indicados y cuando estén funcionando a plena carga.

RENDIMIENTOS PROMEDIOS.-

	RENDIMIENTO EN PORCENTAJE	RENDIMIENTO ACUMULADO EN PORCENTAJE
Turbinas	88,0	88,0
Generadores (incluyendo excitación)	97,0	85,36
Transformadores de Elevación	98,0	83,65

Con estos valores se puede calcular la potencia máxima a transmitirse.

Número de caballos de fuerza entregados a la

turbina:

$$HP = \frac{Q \times h}{75} = \frac{36.000 \times 97,705}{75}$$

$$HP = 46.898$$

KW entregados por los transformadores de elevación:

$$KW = HP \times 0,736 \times n$$

$$KW = 46.898 \times 0,736 \times 0,8365$$

$$KW = 28.867$$

HP = caballos de fuerza métricos

Q = caudal en lts./seg.

h = caída neta

n = rendimiento

KW = kilowatios

PROGRAMA DE INSTALACION.- Tomando como base el estudio de Demanda Máxima de Energía para el período comprendido entre los años 1962 y 1972, contenidos en el cuadro # 1, se puede afirmar que para el año de 1969, es indispensable que la ciudad de Quito cuente con otras fuentes de suministro para poder atender eficientemente el crecimiento normal de la carga.

Para el año de 1969, la demanda máxima se ha

CUADRO No. 1

DEMANDA MAXIMA DE ENERGIA (1962-1972)

AÑO	DEMANDA MAXIMA MW	GENERACION DE ENERGIA KWh	FACTOR DE CARGA %	ENERGIA VENDIDA KWh	INCREMENTO DE VENTAS %
1962	29.50	132.930.000	51.4	98.375.000	11.7
1963	32.36	142.860.000	50.4	107.230.000	9.0
1964	35.18	152.220.000	49.4	115.810.000	8.0
1965	37.78	158.840.000	48.0	125.070.000	8.0
1966	41.05	167.200.000	46.5	135.080.000	8.0
1967	45.24	178.330.000	45.0	145.890.000	8.0
1968	48.85	192.590.000	45.0	157.560.000	8.0
1969	52.76	208.000.000	45.0	170.160.000	8.0
1970	56.98	224.640.000	45.0	183.770.000	8.0
1971	61.53	242.610.000	45.0	198.470.000	8.0
1972	66.45	262.000.000	45.0	214.340.000	8.0

calculado en 52,76 Megawatios, que puede ser suministrada durante la temporada de invierno por las Centrales Hidroeléctricas y Térmicas, cuya capacidad instalada sería de 59,2 Megawatios.

Pero en la temporada de verano, esta capacidad se vería reducida a 46.900 kilowatios, incluyendo los grupos diessel que tendrían que trabajar a plena carga.

En un día de mínimo estiaje y con una carga máxima de 46.900 KW, las diferentes Centrales generarían de la siguiente forma en la hora de demanda máxima:

	CARGA MAXIMA	CAPACIDAD INSTALADA
Diessel	7.600 KW.	8.000 KW.
Los Chillos	1.200	1.800
Guangopolo	4.400	9.400
Cumbayá	33.700	40.000
	46.900 KW.	59.200 KW.

Cabe indicar que generalmente la demanda máxima en la temporada de verano es un 7% menor que en invierno, o sea que para el verano de 1969 sería igual a 49,12 Megawatios, de lo que se deduce que la Central de Nayón debería entrar en funcionamiento

durante este período de sequía.

En vista de que esta Central trabajaría subordinada a la de Cumbayá, sería conveniente el que posea cuatro unidades de 7.500 KW cada una; de este modo el montaje de los grupos podría ser realizado en dos etapas. Además en la temporada de verano se tendría un generador de reserva, o en reparaciones, al igual que en el caso de Cumbayá.

La segunda etapa de Nayón debería entrar en operación en 1971 y su capacidad total estaría plenamente utilizada en el año de 1973.

De acuerdo a este programa de instalación, realizado conforme al estudio de crecimiento de la carga en los próximos años, es necesario efectuar un análisis sobre la conveniencia económica de diseñar una línea de transmisión para la capacidad total de la Central de Nayón, que sólo en 1973 estará copada en su capacidad nominal; o si esta línea se realiza por etapas, ahorrando de este modo el capital inicial invertido.

No demuestra la conveniencia de instalar 30 MW. en Cumbayá

LINEA DE TRANSMISION NAYON-CUMBAYA

VOLTAJE.- Como mencionamos anteriormente, esta línea de transmisión abarca solamente el tramo comprendido entre los patios de distribución de Nayón y Cumbayá, ya que desde este último la energía de ambas Centrales será transmitida a través de los cuatro circuitos que para ese efecto están previstos. El voltaje en el patio de distribución de la Central de Cumbayá es de 46 KV y con este valor se transmite a Quito, razón por la cual se debe fijar este valor para la línea de transmisión NAYON-CUMBAYA.

Resultaría antieconómico el tratar de usar otro voltaje de transmisión, pues sería necesario una estación transformadora adicional para igualar los voltajes en Cumbayá.

DISEÑO MECANICO DE LA LINEA DE TRANSMISION

NUMERO DE CIRCUITOS.- El transporte de energía desde la Central de Nayón puede

realizarse por medio de una de las tres alternativas siguientes:

1) Una línea de transmisión de un circuito para la capacidad total del sistema;
2) Dos líneas de transmisión, cada una de un circuito;
3) Una línea de transmisión de dos circuitos;

La decisión final depende de un equilibrio entre los siguientes factores:

a) Económico,
b) Importancia de la Línea,
c) Condiciones Climatológicas, ?
d) Longitud de la línea.

Al hacer un examen de los tres sistemas se puede ~~enumerar~~ las ventajas y desventajas ~~de cada~~ una de ellas.

Línea de Transmisión de un solo circuito.- Como única ventaja cabe indicar que sería la más económica, debido al menor costo de las torres; ya que en aisladores y conductores no es posible obtener ningún ahorro de material por las siguientes razones:

a) Aisladores; por la gran sección del conductor sería imprescindible usar doble cadena de aisladores por cada línea;

b) Conductores; el peso del conductor para poder transportar toda la energía del sistema deberá ser aproximadamente igual al peso de los dos circuitos en que se divide la línea en las alternativas 2 y 3.

Como factores adversos para este tipo de construcción podemos enumerar los siguientes:

a) La inversión inicial deberá ser hecha en su totalidad;

b) Imposibilidad de realizar trabajos de mantenimiento, mientras la Central esté en operación.

c) En caso de alguna falla mecánica de los conductores, sería imposible mantener la continuidad del servicio, mientras el daño no haya sido completamente arreglado.

En el caso de las alternativas 2 y 3; se pueden enumerar las siguientes ventajas que son similares en ambas:

a) Menor costo inicial;

b) Mayores seguridades en la continuidad del servicio;

c) Facilidad de inspección y mantenimiento.

Técnicamente, lo más recomendable sería el diseñar dos líneas de transmisión de un circuito cada una, ya que esta perspectiva brinda mayores condiciones de seguridad; pero dadas las condiciones climatológicas bastantes benignas en la zona por la que atraviesa la línea de transmisión, en la que no se presentan tormentas de gran magnitud, ni vientos de gran velocidad y además, siendo su longitud tan pequeña que forzozamente ambas líneas quedarían dentro de la misma área en caso de tormentas, el decidirse por este sistema sería antieconómico en vista del alto costo de las torres.

En cambio al realizar el proyecto de una línea con dos circuitos por torre, se obtendrían casi las mismas ventajas que en el caso anterior, pero a un costo mucho menor, por lo tanto será éste el sistema escogido para el diseño de la línea de transmisión NAYON-CUMBAYA.

SELECCION DEL CONDUCTOR.- Dos tipos de conductores se usan generalmente en las líneas de transporte de energía; ellos son: Cable de Aluminio con alma de acero, conocido generalmente como ACSR y Cable de Cobre estirado en frío (HARD DRAWN). Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas las cuales serán enumeradas brevemente:

Cable de cobre estirado en frío (97,3% conductibilidad).- Su principal ventaja radica en su máxima capacidad de conducción comparada con 61% de conductibilidad del Aluminio.

Siendo su sección para una misma capacidad menor que la del aluminio, el área proyectada a la presión del viento será mínima, con lo cual se consiguen menores esfuerzos en las torres, pero en cambio por ser baja la resistencia a la tracción, es necesario que las estructuras sean más altas por la mayor flecha necesaria para mantener la distancia mínima al suelo.

El cable de Aluminio tiene una relación de resistencia al peso aproximadamente el doble del cobre

razón por la cual se puede obtener menores flechas y por lo tanto vanos más largos o en su defecto estructuras más pequeñas.

Es digno de tomarse en cuenta que actualmente el 80% de las líneas de transmisión que se construyen en el mundo, son hechas con cable ACSR.

Para decidir qué clase de conductor será utilizado en el Proyecto, se hará un estudio económico para ambas clases de conductores, sin tomar en cuenta los factores arriba indicados, sino que se buscará un mínimo costo anual o sea una comparación entre las pérdidas de energía anuales calculadas en sucres y el costo anual de amortización, depreciación, etc.

Se busca por este método un valor mínimo al sumar el costo de la energía perdida y el costo anual de amortización, etc. tomando en cuenta que al aumentar la sección del conductor, las pérdidas disminuyen, pero aumenta el precio del conductor.

El voltaje ha sido anteriormente fijado en 46 KV de manera que no es necesario tomar en cuenta el precio de torres, aisladores o transformadores, ya que

aparentemente su valor no varía al mantenerse una misma tensión y no influyen en la selección de los conductores.

El estudio para escoger el conductor más económico se hará partiendo de los siguientes datos:

VOLTAJE	46 KV
POTENCIA	14.433,5 KW por circuito
FACTOR DE POTENCIA	0,90
AMPERIOS	201,5 por conductor
LONGITUD DE LA LINEA	3.500 mts.
FACTOR DE CARGA	0,40

El factor de carga es igual al promedio anual del caudal de agua disponible y que oscila entre 14 y 15 m^3/seg. y que es aproximadamente un 40% del caudal máximo.

Precio del Conductor de Cobre HARD DRAWN

S/ 16.932.oo/tonelada

Precio del Conductor de Aluminio ACSR

S/ 9.500.oo/tonelada

Estos precios han sido suministrados por el fabricante incluyendo transporte, seguros, etc.

Como interés, depreciación, amortización, comisiones, etc. se ha tomado un valor de 15.5% que es un buen promedio tomando en cuenta que el plazo tanto de amortización como de depreciación se realiza a 35 años al término de los cuales, el costo de la línea deberá ser pagado y además deberá haber el dinero necesario para reemplazar dicha línea en su totalidad.

Este valor se descompone en la siguiente forma:

Interés:	6%	Depreciación:	2,9%
Comisiones:	0,7%	Amortización:	5,9%

Al escoger los conductores se ha tomado en cuenta que tengan una capacidad suficiente de sobre-carga, para poder transmitir por un solo circuito, toda la energía del sistema.

El valor del KWh corresponde al costo neto de generación y transmisión, habiendo sido establecido en S/ 0,15.

Los conductores escogidos son los siguientes:

COBRE: 4/0 - 250 MCM - 300 MCM - 350 MCM

ACSR : 336.400 CM - 397.500 CM - 477 MCM - 556.500 CM

En el cálculo de las pérdidas anuales de energía se ha tomado en cuenta que éstas son proporcionales a los cuadrados medios de corriente y no de la corriente media. O sea que dependen de la forma de la curva de generación, la cual no es convenientemente determinada por el factor de carga.

Por este motivo se ha partido de una curva similar a las de la Central de Cumbayá para un factor de carga de 40%; llegándose a establecer que las pérdidas anuales son iguales al cuadrado de la corriente máxima, multiplicadas por la resistencia total del conductor y por 1.700.

En el cuadro No. 2 están tabulados los cálculos tendientes a determinar el conductor más económico; para transmitir la potencia total en dos circuitos y a una tensión de 46.000 voltios.

Este conductor corresponde al 477.000 CM, cuyas características son las siguientes:

477.000 CM

CABLE DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO

26 HILOS ALUMINIO

7 HILOS ACERO

Caída de Voltaje

Este conductor tiene el valor mínimo al sumar el costo de la energía perdida y el costo anual de amortización, depreciación, etc. con un total de S/ 59.055.oo

ESTRUCTURAS DE SOPORTE.- Habiendo sido escogido el conductor para una línea de dos circuitos, es necesario decidir la clase de estructuras que deberán soportar este conductor.

En nuestro medio es imposible conseguir estructuras de madera que tengan una duración más o menos larga, requisito indispensable en una línea de transmisión de importancia.

Los postes de eucalipto que son los comunmente utilizados tienen una duración de tres a cinco años en el mejor de los casos. Además una estructura de tipo H con estos postes de madera no podría soportar la rotura de un conductor. Este mismo inconveniente se presenta en las torres de tipo flexible, las cuales actualmente se consideran anticuadas; estas torres tienen una buena resistencia transversal, pero su efecto es nulo en la dirección de la línea.

Entre las torres rígidas, la de tipo cuadrado es la más generalizada, tiene cuatro caras formadas por perfiles angulares de los mismo tamaños, a pesar de que los esfuerzos longitudinales y transversales son diferentes, pero en cambio se obtiene una economía en la construcción y el montaje. Actualmente se puede obtener torres de tipo rígido fabricadas con acero de alta resistencia mecánica que disminuye considerablemente el peso de las mismas, con lo cual se consigue un menor costo en torres, transporte, etc.

La pequeña longitud de la línea de transmisión NAYON-CUMBAYA, de 3.500 mts. y su importancia al conducir 30.000 KW aproximadamente, crea la necesidad de invertir inicialmente un capital mayor para usar estructuras de acero de tipo rígido, con la cual se obtendrá una mayor garantía en la continuidad del servicio eléctrico a la ciudad de Quito.

Estas estructuras de soporte deberán ser diseñadas eléctrica y mecánicamente para que cumplan su cometido de transporte de energía con seguridad y

confiabilidad.

Las condiciones eléctricas se refieren:

1) La altura mínima de los conductores al suelo;
2) Separación entre conductores;
3) Disposición de los conductores con respecto a la torre;
4) Línea de tierra localizada a un ángulo apropiado con relación a los conductores.

El diseño mecánico tomará en cuenta los esfuerzos verticales, longitudinales y transversales. Tanto para el diseño mecánico como para el eléctrico de la línea, es necesario conocer los esfuerzos debidos a la presión del viento, cambios de temperatura,etc. es decir el conjunto de condiciones externas que dan lugar a los esfuerzos mecánicos sobre el conductor y los soportes.

Las condiciones de clima y temperatura de la zona por donde atraviesa la línea de transmisión pueden ser comparadas a las de distritos de carga ligera, en los que se tienen los siguientes valores:

CARGA LIGERA:

Carga de hielo 0

Carga de viento 43,9 Kg./m^2

Temperatura mínima 0°C

Temperatura máxima 48,8°C

AISLAMIENTO DE LA LINEA.- El buen funcionamiento de una línea de transmisión depende en gran parte del aislamiento. Es una buena práctica el que la tensión de descarga en seco sobre el aislador (dry flashover) sea de 3 a 5 veces el valor del voltaje nominal de operación y una trayectoria de escape (leakage path) aproximadamente el doble de la mínima distancia de aire (air gap).

La práctica moderna tiende hacia los límites más altos, especialmente en líneas de alto voltaje.

El aislador no sólo debe tener características para soportar los más grandes esfuerzos debido a hielo o viento con un amplio margen de seguridad, sino que debe soportar grandes tensiones debido a descargas atmosféricas.

Hay diferentes tipos de aisladores para las diferentes tensiones y condiciones de servicio. Se pueden dividir en dos tipos que son:

Aisladores Rígidos Tipo Pin: Se usan para tensiones

de hasta 66 KV en vanos relativamente cortos y conductores livianos.

Aisladores de Cadena: Se usan casi exclusivamente para líneas sobre los 66 KV, grandes vanos y conductores pesados. En la práctica, el número de unidades usadas en una cadena de aisladores es aproximadamente proporcional al voltaje, -de 4 a 5 unidades se usan para 66 KV- -de 7 a 8 para 110 KV-, etc. El largo de cada unidad oscila entre 5-1/4 y 5-3/4. (pulgadas).

Las unidades modernas tienen una resistencia final de 15.000 lbs. Una carga máxima de trabajo de 5.000 a 6.000 lbs. es generalmente recomendable permitiendo un factor de seguridad de 2,5.

Debido a la altura sobre el nivel del mar de la línea NAYON-CUMBAYA y para mayor seguridad en el diseño de los aisladores, se tomará el voltaje nominal de trabajo como equivalente a 60 KV, debiéndose usar una cadena de 4 aisladores de suspensión del tipo de caperuza y vástago (cap and pin).

Las especificaciones y más detalles se darán en el capítulo correspondiente.

El conductor escogido para el transporte de la energía ACSR 477 MCM de 26 hilos tiene una tensión de rotura de 19.430 lbs. Al usar aisladores de suspensión con una carga máxima de trabajo igual a 6.000 lbs. se obtiene un factor de seguridad de 3,24 para el conductor y 2,5 para el aislador, lo cual brindará mayores garantías de continuidad de servicio.

Al tratar de utilizar doble cadena de aisladores, se obtendría una carga máxima de trabajo del conductor igual a 19.430/2 = 9.715 lbs. con un factor de seguridad de 2. Para el aislador tendríamos un factor de seguridad de 3,08, pero el desembolso de un número doble de aisladores sería antieconómico.

Por este motivo se usarán aisladores de suspensión con una carga de rotura igual a 15.000 lbs. y la línea será diseñada para una carga máxima de .. 6.000 lbs. bajo las condiciones más desfavorables.

LONGITUD DEL VANO.- Es necesario encontrar un equilibrio económico entre la altura de las torres y la distancia a que deberán estar espaciadas.

En construcciones planas, se consigue un costo menor con vanos mayores que los que se consideraban como una buena práctica hasta hace pocos años, pero hay que tomar en cuenta que para vanos demasiado grandes el ahorro en el costo inicial es relativamente pequeño debido a que se necesita un mayor refinamiento en el diseño, planificación y construcción de la línea.

De dos sistemas se puede obtener una longitud mayor en los vanos: aumentando la tensión de los conductores, disminuyendo de este modo la flecha, o aumentando la altura de las torres.

Al aumentar la tensión en los conductores se obtienen menos estructuras de soporte, por consiguiente menor número de aisladores, cimentaciones, etc., pero se aumenta el costo de las torres que deben ser diseñadas para un esfuerzo mayor en caso de rotura de un conductor.

Para condiciones normales una comparación demostrará a menudo que más economía se obtiene al aumentar la altura de las torres que incrementando la tensión de los conductores.

vibración

El aumento de costo debido a un aumento moderado en la altura de las torres no es tan grande como generalmente se cree; estudios realizados en un gran número de torres diseñadas para diferentes tipos de voltaje y conductores, demuestran que para un aumento de altura, el aumento de peso correspondiente es menor que en proporción directa.

La altura de las torres está determinada por los siguientes factores: altura mínima del conductor inferior sobre el suelo, flecha máxima, longitud de la cadena de aisladores, distancia vertical entre conductores, etc.. La mínima distancia entre el suelo y los conductores se fija entre 6 y 8 metros, de acuerdo a la zona por la que atraviesa la línea, que en el caso que nos concierne es completamente rural, esta distancia mínima se tomará de 6 mts.

A continuación se hará un estudio comparativo ~~del costo~~ de la línea con vanos promedios ~~de 150~~, 200, 250 y 300 mts., tomando en cuenta la altura de las torres, flecha máxima, costo de aisladores, costo de cimentaciones, montaje, etc.

002171

Como primer paso para conocer la altura de las torres para los diferentes vanos, es necesario conocer la flecha máxima de cada uno de ellos.

Es conveniente obtener ciertos valores tales como presión del viento, módulo de elasticidad y coeficiente de expansión lineal del cable, antes de realizar los cálculos tendientes a encontrar la flecha máxima.

PRESION DEL VIENTO.- La presión del viento en lbs/pie^2 es función de su velocidad en millas por hora, en la que se aplica la fórmula para superficies cilíndricas.

Si se asume una velocidad de 60 millas por hora (96,6 km/hora) tenemos:

$$p = 0{,}0025\ V^2$$

$$p = 0{,}0025 \times 60^2 = 9 \text{ lbs/pie}^2 \ (43{,}9 \text{ kg/m}^2)$$

La presión del viento sobre un pie lineal del conductor 477 MCM será igual a:

$$\frac{p}{12} \times d = \frac{9 \times 0{,}858}{12} = 0{,}6435 \text{ lbs/pie } (0{,}956 \text{ Kg/m})$$

p = presión lbs/pie^2

d = diámetro del conductor en pulgadas

zontal y el peso del conductor lo hace en forma vertical, tendremos que la resultante del peso del conductor y la presión del viento es igual a:

$$Pr = \sqrt{pc^2 + pv^2} = \sqrt{0{,}6557^2 + 0{,}6435^2} + K$$

$$Pr = 0{,}91 + 0{,}05 = 0{,}96 \text{ lbs/pie } (1{,}43 \text{ kg/m})$$

pc = peso del conductor lbs/pie

pv = presión del viento lbs/pie

K = factor = 0,05 lbs/pie

K.- depende de la forma y clase de la superficie, presión barométrica y velocidad

Si la presión del viento actúa en sentido horizontal y el peso del conductor lo hace en forma vertical, tendremos que la resultante del peso del conductor y la presión del viento es igual a:

$$Pr = \sqrt{pc^2 + pv^2} = \sqrt{0,6557^2 + 0,6435^2} + K$$

$$Pr = 0,91 + 0,05 = 0,96 \text{ lbs/pie } (1,43 \text{ kg/m})$$

pc = peso del conductor lbs/pie

pv = presión del viento lbs/pie

K = factor = 0,05 lbs/pie

K.- depende de la forma y clase de la superficie, presión barométrica y velocidad del viento.

MODULO DE ELASTICIDAD.- En cables tipo ACSR el módulo de elasticidad está en función del módulo del acero y del aluminio, tomando en cuenta el porcentaje del área de cada uno de ellos.

Eas = EaHa + EsHs

Eas = Módulo de elasticidad cable 477 MCM 26/7 ACSR

Ea = Módulo de elasticidad aluminio

Ha = Porcentaje del área del aluminio

Es = Módulo de elasticidad del acero

Hs = Porcentaje del área del acero

Eas = 10.000.000 x 0,859 + 29.000.000 x 0,141

Eas = 12.679.000 lbs/pulg^2 (891.160 kg/cm^2)

COEFICIENTE DE EXPANSION LINEAL DEL CABLE.-

$$\theta as = \theta a \frac{EaHa}{Eas} + \theta s \frac{HsEs}{Eas}$$

θas = Coeficiente de expansión lineal cable ACSR 477 MCM 26/7

θa = Coeficiente de expansión lineal del aluminio

θs = Coeficiente de expansión lineal del acero

$$\theta as = 0.000.0128 \times \frac{8.590.000}{12.679.000} + 0.000.0064 \times \frac{4.089.000}{12.679.000}$$

θas = 0.000.0107°F (0.000.0192°C)

CALCULO DE LA FLECHA MAXIMA.- Es evidente que una solución matemática para determinar las flechas y tensiones para diversas condiciones de temperatura, cargas, etc. sería muy cumplicada.

Por estas circunstancias, para los diferentes cálculos se empleará el método de las tablas de Martin, cuyos valores han sido deducidos de las ecuaciones de la curva catenaria.

Este sistema de cálculo será brevemente descrito:

1) De las tablas se buscan las funciones de la curva Catenaria a la cual se conformaría el alambre bajo las condiciones asumidas de carga. En nuestro caso estas condiciones son:

Temperatura: 0°C

Presión del viento: 9 lbs/pie^2 (43,9 kg/m^2)

Máxima tensión: 6.000 lbs (2.727 kg)

2) Se quita todo el peso del alambre de manera que quede sin esfuerzos y tenga tensión cero.

3) Se cambia la temperatura del alambre, mientras está sin esfuerzos y se determina la longitud sin esfuerzos a la nueva temperatura.

4) Se coloca el peso deseado sobre el alambre. Las funciones de la curva catenaria resultante se pueden encontrar de las tablas, pudiéndose luego obtener los valores de las nuevas flechas y tensiones.

El cálculo de la flecha máxima se hará a partir de los siguientes datos ya obtenidos con anterioridad:

Cable ACSR 477.000 CM 26/7

Máxima tensión de trabajo (T)
6.000 lbs (2.727 kg)

Presión del viento
9 lbs/pie^2 (43,9 kg/m^2)

Temperatura mínima
32°F (0°C)

Temperatura máxima
120°C (48,8°C)

Peso del Conductor (W)
0,6557 lbs/pie (0,975 kg/m)

Peso resultante conductor más presión viento (W_r)
0,9686 lbs/pie (1,43 kg/m)

Módulo de elasticidad (e)
12.679.000 lbs/pgd^2 (891.160 kg/cm^2)

Area del conductor (a)
0,4357 pgd^2 (2,81 cm^2)

Coeficiente de expansión lineal (θ)
0,0000107/°F (0,0000192/°C)

Vano S
150,200,250,300 mts.

OPERACIONES PRELIMINARES.-

W_r/T = 0,000525

ae = 2.504.159

W_r/ae = 0,000000571

W/ae = 0,000000389

48,8 θ = 0,000937

FLECHA MAXIMA PARA VANO DE 150 METROS

A	0,0708
B	12,7036062
C	1,0002585
D	0,00008565
E	0,00108806
F	0,9991705
G	0,0009370
H	1,0001075
I	0,00005835
J	8,35
K	0,0149688
L	2,245

FLECHA MAXIMA PARA VANO DE 200 METROS

A	0,105
B	9,5194305
C	1,0004608
D	0,0001142
E	0,0010871
F	0,9993737
G	0,000937
H	1,0003107
I	0,0000778
J	6,98
K	0,0179286
L	3,58

FLECHA MAXIMA PARA VANO DE 250 METROS

A	0,13125
B	7,6036533
C	1,0007210
D	0,00014275
E	0,0010854
F	0,9996356
G	0,000937
H	1,0005726
I	0,00009725
J	6,01
K	0,0208340
L	5,208

FLECHA MAXIMA PARA VANO DE 300 METROS

A	0,1575
B	6,3426934
C	1,0010403
D	0,0001713
E	0,0010865
F	0,9999538
G	0,000937
H	1,0008908
I	0,0001167
J	5,28
K	0,0237493
L	7,125

DESCRIPCION DEL CALCULO.-

A SW_r/T.- Vano por el peso de la resultante del conductor más la presión del viento, sobre la máxima tensión de trabajo.

B Factor de estiramiento: corresponde en las tablas a un valor de A

C Factor de Longitud: se obtiene de las tablas en forma similar al caso anterior.

D SW_r/ae.- Factor de alargamiento.

E Cambio de longitud del cable; es igual a factor de alargamiento por factor de estiramiento D x B

F Factor de longitud sin esfuerzos a la temperatura original 0°C. En otras palabras es igual a factor de longitud, menos cambio de longitud C - E

G Cambio de longitud debido al aumento de temperatura hasta 48,8°C, es igual a 48,8 θ

H Longitud sin esfuerzos a la nueva temperatura F + G

I SW/ae.- Factor de alargamiento

J Factor de estiramiento; este factor se obtiene por tanteos, hasta llegar a un valor de longitud que en las tablas corresponda al factor de estiramiento obtenido.

K Factor de flecha: corresponde en las tablas a un valor de J

L Flecha en metros: es igual a factor de flecha por vano en metros.

De acuerdo a los cálculos efectuados, se han obtenido las siguientes flechas para cada uno de los vanos estudiados:

VANO	FLECHA MAXIMA
150 mts.	2,245
200 "	3,58
250 "	5,208
300 "	7,125

La altura de la torre, como hemos mencionado anteriormente, depende de:

1) Distancia mínima del punto más bajo del conductor al suelo;
2) Flecha máxima;
3) Longitud de la cadena de aisladores.

Si llamamos cuerpo de la torre a la parte comprendida entre el brazo que soporta el aislador inferior y el nivel del suelo, se puede confeccionar un cuadro con alturas del cuerpo de la torre para

los diferentes vanos:

VANO	DIST. MIN. LIBRE	FLECHA MAXIMA	LONGITUD AISLADORES	LONGITUD TOTAL CUERPO TORRE
150	6.00	2.25	0.94	9.19
200	6.00	3.58	0.94	10.52
250	6.00	5.21	0.94	12.15
300	6.00	7.13	0.94	14.07

Teniendo la longitud del cuerpo de la torre para los diferentes vanos, es posible hacer un estudio para encontrar el vano más económico con el cual se dibujará la plantilla de flecha máxima para la localización de las torres en el perfil de la línea de transmisión y que servirá de vano regular (ruling span).

Como puede observarse en el cuadro No. 3 el vano más económico para el presente caso, resulta igual a 250 mts. Es posible que en un estudio más refinado en el que consten los costos de montaje y operación se encuentre más económico usar vanos de 300 mts., pero la topografía del terreno por donde atraviesa la línea de transmisión en la que es necesario utilizar torres de ángulo, no permitiría vanos promedios de 300 mts., razón por la cual se escoge el

CUADRO No. 3

VANO MAS ECONOMICO

VANO METROS METROS	150	200	250	300
ALTURA CUERPO TORRE MTS.	9,19	10,52	12,15	14,07
PESO TORRE Kgs.	1.203	1.530	1.931	2.482
TORRES POR Km.	6,66	5	4	3,33
PESO TORRES Kg/Km	8.012	7.650	7.724	8.265
COSTO TORRES $ por Km.	38.938	37.179	37.538	40.167
COSTO AISLADORES por Km.	17.982	13.500	10.800	8.991
COSTO por Km. CIMENTACIONES	18.060	14.460	12.768	12.588
COSTO TOTAL/Km.	74.980	65.139	61.106	61.746

vano equivalente a 250 mts.

Además con un vano mayor es muy posible el que sea necesario aumentar la distancia del conductor a la torre debido a la presión del viento, afectando este aumento al peso de las torres.

Los pesos de las torres son valores promedios suministrados por el fabricante en los que únicamente varían el cuerpo de la torre o sea aumento de altura y la base correspondiente; la distancia entre conductores y de éstos a la torre, permanece la misma en todos los casos.

El precio de las torres está de acuerdo al peso de cada una de ellas, teniendo un valor igual a 4.860.oo sucres por 1.000 Kgs.

Las cimentaciones también son las recomendadas por el fabricante y se les ha fijado un valor igual a 600.oo sucres por metro cúbico. Este valor es un poco alto, pero es necesario tomar en cuenta el transporte y la falta de agua en la zona de la línea. Los aisladores han sido calculados a base de una cadena de 4 aisladores por fase, o sea 6 cadenas por torre. El precio de cada una de ellas es igual a 450.oo sucres.

En todos los precios se ha tomado en cuenta el valor del transporte hasta el sitio de trabajo, seguros, etc.

LOCALIZACION DE LAS TORRES.- La localización de las estructuras de soporte en el perfil de la línea de transmisión se realiza con una plantilla hecha de material plástico, llamada "plantilla de flecha máxima".

Es necesario conocer la flecha máxima del vano regular (ruling span) y luego calcular valores de flechas máximas para vanos mayores y menores que el vano regular. Estas flechas se calculan como proporcionales al cuadrado de la distancia; ya que es obvio que todos los conductores deberán trabajar a una misma tensión que es la tensión del vano regular, o sea que conocida la flecha máxima del vano regular, es muy sencillo calcular flechas para vanos mayores o menores con la fórmula:

$$F = \frac{WS^2}{8T}$$

F = flecha en metros

W = peso del conductor en Kg./m.

S = vano en mts.

T = tensión en Kg.

Cálculo de la tensión para flecha de 5,208 y vano de de 250 mts.

$$5{,}208 = \frac{250^2 \times 0{,}975}{8T} \qquad T = \frac{250^2 \times 0{,}975}{8 \times 5{,}208}$$

$$T = \frac{60.937{,}5}{41{,}664} = 1.462 \text{ Kg.}$$

Para encontrar la flecha máxima de un vano de cualquier longitud aplicando la fórmula antes indicada se obtiene:

$$F = \frac{W}{8T} S^2 = \frac{0{,}975}{8 \times 1.462} S^2 = 0{,}00008336 S^2$$

en que la flecha es igual al cuadrado del vano multiplicado por 0,00008336.

El cuadro No. 4 ha sido elaborado de acuerdo a esta fórmula y que nos sirve para dibujar la plantilla de flecha máxima.

PREPARACION DE LA PLANTILLA.- Si los valores de flecha máxima de un conductor a un vano regular especificado se expanden para obtener los valores correspondientes de flecha para vanos mayores y menores, al ser estos valores

CUADRO No. 4

CALCULO DE VALORES PARA EL TRAZADO DE LA PLANTILLA DE FLECHA MAXIMA

S = vano en metros

f = flecha

$$f = \frac{WS^2}{8T} = 0.00008336\ S^2$$

S	S^2	F	S	S^2	F
50	2.500	0,208	550	302.500	25,216
100	10.000	0,833	600	360.000	30,009
150	22.500	1,875	650	422.500	35,219
200	40.000	3,334	700	490.000	40,846
250	62.500	5,21	750	562.500	46,890
300	90.000	7,502	800	640.000	53,350
350	122.500	10,211	850	722.500	60,427
400	160.000	13,337	900	810.000	67,521
450	202.500	16,880	950	902.500	75,232
500	250.000	20,840	1.000	1'000.000	83,36

dibujados con su correspondiente valor del vano, se obtiene una curva del perfil del conductor. Si esta curva es dibujada a la misma escala que el plano del perfil de la línea de transmisión, se obtiene lo que generalmente se llama una plantilla de flecha máxima; la cual se usa para localizar las estructuras en el perfil de la línea.

Es ventajoso usar en este perfil una escala vertical diferente a la horizontal; esto se explica porque en la escala horizontal un error de centímetro no influye tanto como en la vertical, en la que es necesario poder apreciar las alturas con mayor exactitud.

El perfil de la línea se ha trazado tomando en cuenta estas consideraciones y se ha escogido una escala horizontal de 1:5.000 y vertical de 1:500.

El trazado de la plantilla de flecha máxima se hará usando estas mismas escalas.

Luego de trazar la curva de flecha máxima para los diferentes vanos, se dibuja una curva idéntica a la anterior a una distancia de 6.00 mts., o sea la mínima distancia libre del conductor al suelo. Una tercera curva se traza a una distancia vertical

igual a la altura de la torre hasta el punto de apoyo del conductor. Esta curva sirve para localizar las bases de las torres.

En la figura No. 3 se ha dibujado la plantilla que sirve para la localización de las torres, con las curvas de flecha máxima, línea de mínima distancia al suelo y línea de la base de las torres.

Las ventajas que se obtienen al usar este método de localizar las torres pueden ser resumidas en los siguientes puntos:

1) Se obtiene las distancias mínimas del conductor al terreno
2) Vanos promedios
3) El que las estructuras soporten sus cargas de diseño.

El proceso de localizar las estructuras de realiza de izquierda a derecha en el perfil, aunque es recomendable el prestar atención varios vanos más adelante, ya que pueden presentarse condiciones especiales que afectarían la situación de las estructuras, tales como cruces de caminos, de ríos, ángulos en la línea, etc.

Estas circunstancias generalmente fijan el sitio de las estructuras y es más conveniente determinar las torres entre estos puntos; muchas veces es necesario realizar varias tentativas hasta encontrar la solución más satisfactoria.

La zona por donde atraviesa la línea de transmisión tiene características especiales por ser muy montañosa. Por este motivo en el trazado de la línea final ha sido necesario usar tres ángulos de hasta 60°. Esta línea se presenta como la única solución para evitar que se produzca una tracción vertical en las torres.

Se trazó diferentes perfiles de posibles localizaciones de la línea y en todas ellas se producía una tracción vertical en varias torres, por cuyo motivo dichos perfiles fueron objetados.

En el perfil final no sucede esta condición, que bajo todo punto de vista debe ser evitado, ya que la única función de tales estructuras, sería la de mantener los conductores en su sitio, cuando se presenta la presión del viento.

Agregar otra punta

En cambio con aisladores de suspensión, esta tracción vertical forzaría al aislador contra el brazo que lo soporta.

Para la localización de las estructuras de soporte en el perfil de la línea de transmisión y para evitar en lo posible el uso de estructuras especiales se han tomado en cuenta las siguientes restricciones en el uso de la plantilla de máxima flecha para el vano regular de 250 mts.

Para vanos mayores de 1.7 veces o menores de 0.50 veces del vano regular, el conductor deberá ser amarrado en punto muerto (dead end) en ambos extremos del vano y se deberá usar un vano regular diferente.

En la localización de las estructuras se ha tratado de evitar vanos mayores de 425 mts. o menores de 125 mts.

De acuerdo al perfil de la línea y luego de localizadas las estructuras se observa que se necesitan tres tipos de torres:

a) 9 Torres de Tangencia; de la línea y con pequeños ángulos de deflexión de hasta 5°; y aisladores de suspensión.

b) 3 Torres de ángulo; para deflexiones de 45° a 60°

c) 2 Torres especiales; estas torres que son las más próximas a los patios de distribución de Nayón y Cumbayá, deberán poseer cuchillas desconectadoras en ambos circuitos. Estas torres serán de anclaje y el conductor deberá ser amarrado en punto muerto (dead end).

Es necesario tomar en cuenta otra regulación referente a que la tensión máxima de los conductores y líneas de tierra bajo carga deberá ser reducida aproximadamente a la mitad, en el vano que termina en una estructura de subestación o patio de distribución.

Por circunstancias topográficas del terreno, ha sido necesario usar en ciertos casos estructuras más altas que las previstas. En el cuadro de resumen se indicará la posición de las torres, clase o tipo, altura, etc.

BALANCEO DE LOS AISLADORES.- Los aisladores de suspensión están sujetos a un balanceo causado por la presión horizontal del viento. Esta presión reduce la distancia mínima que

debe existir entre el conductor y la torre, siendo necesario determinarla y fijar su valor, para de este modo mantener el aislamiento adecuado del conductor.

La Presión horizontal del viento que tiende a balancear al aislador en cualquiera de las estructuras, es igual a la mitad de la presión del viento sobre un conductor en dos vanos adyacentes.

El peso vertical que tiende a oponerse a la presión del viento, es igual al peso del conductor soportado por la cadena de aisladores más la mitad del peso de dicha cadena de aisladores. El largo del conductor soportado por la cadena de aisladores, es igual a la distancia entre los puntos más bajos de dos vanos adyacentes.

El ángulo que forma el aislador debido a la presión horizontal del viento es de acuerdo al enunciado anterior, igual a:

$$tg\ \theta = \frac{H \times We}{V \times W + Wi/2}$$

θ = ángulo que forma el aislador con la vertical bajo la presión del viento

H = Vano horizontal.- es igual a la mitad de la longitud de dos vanos adyacentes en metros

V = Vano vertical.- Es igual a la distancia en metros entre los puntos más bajos de dos vanos adyacentes del aislador.

We = Presión del viento sobre el conductor en Kg/m

W = Peso del conductor en Kg/m

Wi = Peso de la cadena de aisladores = 24 Kg.

$$tg\ \theta = \frac{H \times 0.956}{V\ 0.975 + 12} =$$

En el cuadro No. 5 están indicados los valores de H y V para cada una de las torres de suspensión; el cálculo del ángulo ha sido realizado para todas ellas en vista de su número reducido.

De este modo se puede fijar la posición de los conductores en la torre, tomando en cuenta el caso del aislador que resulte en condiciones más desfavorables.

Este caso se presenta en la torre No. 11 en que la cadena de aisladores forma un ángulo de 59° 40' con respecto a la vertical.

DISTANCIA ENTRE EL CONDUCTOR Y LA TORRE.- Si bajo

CUADRO No. 5

BALANCEO DE AISLADORES PARA TORRES DE TANGENTE

TORRE No.	H mts.	V mts.	H x 0.956	V x 0.975 + 12	Tg θ
2	260	285	248.56	291	0.852
4	192	320	183.55	324	0.571
6	200	200	179.72	206	0.869
7	212	200	221.80	206	1.072
9	287	180	274.37	187	1.50
10	280	395	267.68	397	0.672
11	318	170	304.oo	177.7	1.71
12	322	580	307.83	577	0.53
13	275	200	262.90	206	1.27

-.-.-

la presión del viento el aislador forma un ángulo de 60° con la vertical, el conductor debe mantener una distancia mínima equivalente a 0.75 del valor de la descarga en seco de la cadena de aisladores. Si la cadena está formada por 4 aisladores, este valor será igual a 19" ó 49 cmts. Siendo la longitud del aislador igual a 77 cmts., al formar un ángulo de 60°, su desplazamiento horizontal debido a la presión del viento, será igual a 0.77 sin 60° o sea 67 cmts.

El punto de apoyo del aislador deberá estar a 0.67 + 0.49 = 1.16 mts. de la torre como mínimo.

DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES.- Esta distancia es igual a 77 cmts. que es el largo de la cadena de aisladores más 63 cmts. que corresponde al valor de la descarga en seco de la cadena de aisladores y más 15 cmts. (punto de apoyo del aislador). O sea que la distancia mínima entre conductores será igual a 0.77 + 0.63 + 0,15 = 1,55 mts.

Para mayor seguridad se han tomado los valores de 1.50 para la distancia entre la torre y el soporte del aislador y 1.80 para la distancia entre los conductores.

Esta separación mínima puede ser comprobada con la

fórmula empírica de Thomas:

$e = C\ d\ D/w + A$

en la que:

e = separación en pies

C = coeficiente obtenido del estudio de diferentes líneas y que generalmente se toma igual a 1,8 para territorios no sujetos a vientos violentos.

d = Porcentaje de flecha

D = diámetro del conductor en pulgadas

W = peso del conductor en lbs/pie

A = Distancia a la que salta el arco (1 pie/110 KV)

$$e = 1{,}8 \times \frac{5{,}21 \times 100}{250} \times \frac{0{,}858}{0{,}655} + 0{,}5$$

$e = 1{,}8 \times 2{,}08 \times 1{,}39 + 0{,}5$

e = 5,7 pies (1,73 mts.)

LINEA DE PROTECCION A TIERRA.- La protección obtenida de líneas aéreas de tierra, que fuera materia de controversia en el pasado, es actualmente aceptada siempre que:

- proteja a todos los conductores;
- la resistencia al pie de la torre sea baja;
- el nivel de aislamiento sea relativamente alto; y

- la distancia entre conductores y líneas de tierra sea suficientemente grande.

En el diseño de la línea de tierra se debe tomar en cuenta las condiciones arriba indicadas.

La localización de la línea con respecto a los conductores, es de importancia primordial; pruebas de laboratorio coordinadas con experiencias de campo, han demostrado que un buen promedio es un ángulo de 30°. Este ángulo está formado por una línea vertical desde el punto de apoyo del cable de tierra en la torre y la línea entre este cable y el conductor más exterior.

CALCULO DE LA LINEA DE TIERRA.- Se ha llegado a establecer que el material y la conductibilidad del cable de tierra son de importancia secundaria, sin embargo se debe tener presente al diseñar esta línea, el riesgo que se presentaría en caso de falla mecánica o la posibilidad de que entre en contacto con los conductores de energía.

En otras palabras, el conductor de tierra debe escogerse con un criterio de diseño mecánico más bien que de eléctrico.

Para cumplir este enunciado, al determinar el

CUADRO No. 6

FLECHA MAXIMA PARA CABLE DE ACERO
VANO REGULAR 250 mts.

	1/2"	7/16"	3/8"	FORMULAS
A	0.0934	0.1031	0.1065	SWr/T
B	10.703037	9.7044417	9.3854366	
C	1.0003635	1.0004433	1.0004740	
D	0.000139	0.0001481	0.0001665	SWr/ae
E	0.001487	0.001437	0.001562	D x B
F	0.99887	0.99900	0.99891	C - E
G	0.0005856	0.0005856	0.0005856	48,8 θ
H	0.9994556	0.9995856	0.9994956	F + G
I	0.0001046	0.0001048	0.0001046	Sw/ae
J	9.56	8.92	9.34	Por tanteos
K	0.0130843	0.0140257	0.0133973	F. Flecha
F	3,271	3,506	3,349	Flecha mts.

1.020	0.839	0.6456	Wr
0.7677	0.5938	0.406	W
0.9658	0.7458	0.5107	a
250	250	250	S
1.898.370	1.898.370	1.898.370	e
0.0000120	0.0000120	0.0000120	θ
2.730	2.034	1.515	T

escogidos, está entre 3,27 y 3,506 mts. que es inferior en 1.70 mts. a la flecha máxima del conductor 477 MCM.

Si todos los cables cumplen las condiciones estipuladas, es lógico que el tipo escogido será el de menor sección o sea el cable galvanizado de 3/8" de diámetro, 7 hilos, de alta resistencia.

Este cable deberá soportar una tensión máxima de trabajo de 1.515 Kgs. en las condiciones de carga más adversas.

ESTRUCTURAS DE SOPORTE - ESFUERZOS SOBRE LAS TORRES.-

1) Fuerzas Transversales.- Son debidas a la presión del viento sobre los conductores, líneas de tierra, aisladores, cuerpo de la torre, etc.

2) Fuerzas Longitudinales.- Se deben principalmente a la máxima tensión de trabajo que existe e caso de un conductor o cable de tierra roto.

3) Fuerzas verticales.- Son aquellas que actúan sobre las torres debido al peso de los conductores, aisladores y accesorios y al peso propio de las estructuras.

En la línea de transmisión, las estructuras de soporte pueden clasificarse dentro de tres diferentes tipos:

Tipo "T".- Torres de tangencia de la línea, con ángulos de deflexión, no mayores de 5°;

Tipo "A".- Torres de ángulo de hasta 60° de deflexión;

Tipo "E".- Torres de anclaje especiales, localizadas junto a los patios de distribución; estas torres estarán provistas de cuchillas desconectadoras.

Para cada tipo de torre se calcularán los esfuerzos correspondientes, tomando en cuenta el vano vertical V para el cálculo de los esfuerzos verticales y el vano horizontal H para el cálculo de los esfuerzos transversales.

Este cálculo se efectuará escogiendo dentro de cada grupo, la torre cuyos vanos verticales y horizontales sean mayores y así tenemos de acuerdo al cuadro No. 7.

Para el cálculo de las torres de Tangencia se ha escogido la estructura No. 12.

Para el cálculo de las torres de ángulo la No. 8 y para las torres especiales la No. 1.

CUADRO No. 7

VANOS VERTICALES Y HORIZONTALES DE LA LINEA DE TRANSMISION

TORRE No.	TIPO	VANO HORIZONTAL mts.	VANO VERTICAL mts.
1	ESPECIAL	252	210
2	TANGENTE	260	285
3	ANGULO	188	285
4	TANGENTE	192	320
5	ANGULO	185	130
6	TANGENTE	200	200
7	TANGENTE	212	200
8	ANGULO	292	370
9	TANGENTE	287	180
10	TANGENTE	280	395
11	TANGENTE	318	170
12	TANGENTE	322	580
13	TANGENTE	275	200
14	ESPECIAL	135	35

TORRES TIPO "T".-

Fuerzas verticales sobre el conductor.-

Vano vertical = 580 mts.

Peso conductor = 0,975 Kgs/m

Peso total del conductor = 580 x 0,975 = 565,5 Kgs.

Fuerzas verticales sobre el cable de tierra.-

Vano vertical = 580 mts.

Peso cable tierra = 0,406 Kgs/m.

Peso total cable tierra = 580 x 0,406 = 235,5 Kg.

Fuerzas transversales sobre el conductor.-

Vano horizontal = 322 mts.

Presión del viento = 0,956 Kgs/m

Presión total = 307,8 Kgs.

Fuerzas transversales sobre el cable de tierra.-

Vano horizontal = 322 mts.

Presión del viento = 0,402 Kgs/m

Presión total = 129,44 Kgs.

Fuerzas longitudinales sobre el conductor.-

2.727 Kgs.

Fuerzas longitudinales sobre el cable de tierra.-

1,515 Kgs.

TORRES DE ANGULO.-

Fuerzas verticales sobre el conductor.-

Vano vertical = 370 mts.

Peso conductor ; 0,975 Kgs/m

Peso total = 360,75 Kgs.

Fuerzas verticales sobre el cable de tierra.-

Vano vertical = 370 mts.

Peso cable = 0,406 Kgs/m

Peso total = 150,22 Kgs.

Fuerzas transversales sobre el conductor.-

Vano horizontal = 292 mts.

Presión del viento = 0,956 Kgs/m

Presión total = 279 Kgs.

Fuerzas transversales sobre el cable de tierra.-

Vano horizontal = 292 mts.

Presión del viento = 0,402 Kgs/m

Presión total = 117,3 Kgs.

Fuerzas longitudinales sobre el conductor.-

2.727 Kgs.

Fuerzas longitudinales sobre el cable de tierra.-

1.515 Kgs.

TORRES ESPECIALES.-

Fuerzas verticales sobre el conductor.-

Vano vertical = 210 mts.

Peso conductor = 0,975 Kgs/m

Peso total = 204,75 Kgs.

Fuerzas verticales sobre el cable de tierra.-

Vano vertical = 210 mts.

Peso cable = 0,406 Kgs/m

Peso total = 85 Kgs.

Fuerzas transversales sobre el conductor.-

Vano horizontal = 252 mts.

Presión del viento = 0,956 Kgs/m

Presión total = 240,9 Kgs.

Fuerzas transversales sobre el cable de tierra.-

Vano horizontal = 252 mts.

Presión viento = 0,402 Kgs/m

Presión total = 101,3 Kgs.

Fuerzas longitudinales sobre el conductor.-

2.727 Kgs.

1.363 Kgs.

Fuerzas longitudinales sobre el cable de tierra.-

1.515 Kgs.

750 Kgs.

DISEÑO DE LA LINEA BASADA EN DESCARGAS DIRECTAS.- La teoría de descargas directas es actualmente aceptada para líneas de alto voltaje y por este motivo es necesario una protección adecuada de la línea contra estas descargas.

FACTORES DE DISEÑO.- El diseño de una línea de transmisión contra descargas es prácticamente independiente del voltaje de operación.

Los principios básicos sobre los cuales se funda el diseño de una línea contra descargas eléctricas, son las siguientes:

1) Líneas de tierra con suficiente fuerza mecánica, convenientemente localizadas para proteger la línea contra descargas directas.
2) Una distancia libre, adecuada, mantenida entre el conductor y la torre, de modo que el aislamiento sea efectivo.
3) La distancia entre el conductor de tierra y los conductores de energía, especialmente al medio del vano, debe ser suficiente para que no se produzcan descargas al conductor.

4) Tal vez, la más importante de todas la resistencia a tierra, que debe ser tan baja como las circunstancias lo permitan.

Los puntos arriba indicados pueden ser mejor comprobados al examinar la figura No. 6, en la que constan las distancias y ángulos de conductores y líneas de tierra.

1) La línea de tierra está localizada en la parte central superior de la torre, formando un ángulo de 30° con los conductores más cercanos; con este tipo de construcción el cable de tierra no está colocado directamente sobre los conductores, eliminándose la posibilidad de que lleguen a ponerse en contacto en caso de balanceo.

2) Al determinar la posición del c nductor con respecto a la torre, se tomó en consideración la distancia mínima del valor de la descarga en seco, cuando el conductor se halle más cerca de la torre debido a la máxima presión del viento. Con el mismo criterio se determinó la distancia vertical entre conductores. Además puede observarse que los conductores están en un mismo plano vertical, siendo

innecesario el desplazamiento del conductor central, en vista de la ausencia de tormentas de nieve en el país.

3) La tercera estipulación ha sido tomada en cuenta al escogerse el cable de tierra, que presenta una flecha menor que la del conductor, aumentando de este modo la distancia entre el conductor y la línea de protección al medio vano.

4) Para cumplir esta condición referente a una baja resistencia a tierra, debido a las condiciones del terreno, es imposible establecer un valor fijo; pero se puede afirmar que es más económico el bajar la resistencia del terreno a un valor equivalente a 10 ohmios, que aumentar aisladores a la línea.

Basado en este enunciado, se tomará como valor para el cálculo una resistencia a tierra igual a 10 ohmios, que no es muy exagerado si tomamos en cuenta que el terreno por donde atraviesa la línea está formado por suelo vegetal.

Económicamente esta resistencia puede reducirse a un valor más bajo por medio de varillas de tierra conectadas a cada torre.

NIVEL DE AISLAMIENTO.- Se puede, con la ayuda de las curvas de las figuras 6-7-8-9, determinar el grado de inmunidad de una línea contra descargas eléctricas.

Estas curvas han sido calculadas sobre la base de que la descarga es interceptada por el cable de protección; la corriente producida al realizarse esta descarga circula a lo largo de este conductor hasta la torre o torres y luego a tierra. Mientras esta corriente es desviada a tierra, un voltaje de transición aparece en la línea.

Si se desprecia el voltaje normal, la magnitud de este voltaje de transición depende principalmente de: corriente de descarga; forma de la onda; resistencia del pie de la torre; inductancia de la torre; largo del vano y factor de acoplamiento.

Las curvas de las figuras Nos. 7 y 8 se basan en potenciales sobre la torre y en el medio del vano, que se determinaron luego de un estudio hecho por la Anacom. La Anacom usó una línea típica en la cual se aplicaron corrientes de descarga sobre la torre y al medio vano, habiéndose medido los potenciales correspondientes.

Las curvas de la figura No. 7 para determinar el número de interrupciones debido a descargas han sido calculadas con un factor de acoplamiento correspondiente a una línea de tierra colocada a 100 pies de altura sobre el suelo y a 30 pies de separación del conductor. Para otros valores de altura y separación, el número de aisladores deberá ser multiplicado por el factor de corrección obtenido en la figura No. 6, debido al cambio del factor de acoplamiento.

La distancia entre la línea de tierra y el conductor se refiere al conductor más alejado o sea el que tiene el voltaje de transición mayor.

Es necesario además, tomar en cuenta el nivel Isokraunico, ya que las curvas han sido calculadas para un nivel de 30 días de tormentas eléctricas por año. Para un nivel diferente, las probabilidades de descarga varían en proporción directa.

Si la corriente permisible de descarga al medio vano es mayor que dos veces la corriente permisible en la torre, las probabilidades de interrupción son iguales al término medio de las probabilidades correspondientes a la corriente permisible en la torre y la

correspondiente a dos veces esta corriente de descarga.

Si el nivel de protección al medio vano, es mayor del doble del nivel de protección en la torre, las probabilidades de desconexión se determinarán de acuerdo a la figura No. 9.

Luego de estas observaciones referentes al uso de las curvas, se puede buscar el nivel de protección de la línea de transmisión NAYON-CUMBAYA, de acuerdo a los siguientes datos:

Nivel Isokeraunico 45

Número de aisladores 4

Vano Regular ..... 250 mts.

Resistencia al pie de la torre 10 ohmios

Altura de la línea de tierra sobre el suelo 18,65 mts. (61 pies)

Distancia en la torre entre la línea de tierra y el conductor más alejado ..... 6,70 mts. (22 pies)

Distancia mínima entre la línea de tierra y el conductor al medio vano ..... 4,26 mts. (14 pies)

1) En primer lugar es necesario establecer el factor de corrección de acuerdo a la curva de la figura No.

6 en la que se obtiene un valor de 0.97 o sea que el número equivalente de aisladores será igual a 4 x 0.97 = 3,88.

2) El nivel de protección al medio vano, para una luz de 250 mts. y una distancia de 14 pies entre el conductor y la línea de tierra, es igual a 80.000 amperios con 2 probabilidades de interrupción por 100 millas por año. (Ver fig. 8).

3) El nivel de protección en la torre para 3,88 aisladores, vano de 250 mts., 10 ohmios de resistencia al pie de la torre es de 46.000 amperios y 9 probabilidades de interrupción por 100 millas por año. (Ver fig. 7).

En vista de que el nivel de protección al medio vano es mayor que dos veces el nivel de protección en la torre, las probabilidades de desconexión de la línea han sido calculadas de acuerdo a la figura No. 9, donde encontramos que para una corriente permisible de 40.000 amperios en la torre, hay 6,2 probabilidades de desconexión por 100 millas por año, para un nivel Isokeráunico de 30;

Para un nivel Isokeráunico de 45, las probabilidades

de desconexión serían de 6,2 x 1,5 = 9,3 por 100 millas por año;

Si la longitud total de la línea es de 2,2 millas, tenemos:

$$\frac{9,3 \times 2,2}{100} = 0,20 \text{ desconexiones por año}$$

Luego de haber determinado este valor de probabilidades de interrupción debido a descargas eléctricas, se aprecia que no es necesario realizar cambio alguno en el número de aisladores, distancias entre conductores y líneas de tierra, etc. ya que el nivel de protección demuestra ser bastante efectivo.

Unicamente se hará un estudio para mantener un valor promedio de 10 ohmios de resistencia al pie de la torre.

VIBRACION.- Todos los conductores están sujetos a vibración, como resultado de la acción del viento que induce repetidas tensiones de dobladura al conductor, causando su debilitamiento e inclusive llegando al extremo de romperlo.

A causa de que el ACSR, es más liviano que el conductor de cobre y que generalmente está diseñado para

una tensión mayor, este conductor es más susceptible a la vibración y por este motivo requiere una protección especial, la que se obtiene ya sea usando Varillas de Armada o Amortiguadores de Vibración, o una combinación de ambos.

VARILLAS DE ARMADA.- Tiene algún efecto de amortiguamiento de la vibración, reduciendo su amplitud de 10 a 20%, pero su verdadero valor de protección radica en que refuerza al conductor en su punto de máxima tensión.

Además de proteger al conductor contra la vibración, ayuda muy eficientemente en el caso de descargas eléctricas.

Las Varillas de Armada para conductores de aluminio son fabricadas de aluminio y consisten en capas espirales de pequeñas varillas redondas, colocadas alrededor del cable.

El enlace del conductor al aislador se lo hace en el medio del refuerzo, aumentando en esta forma su diámetro equivalente; de este modo se obtiene mayor solidez en el lugar donde la tensión de dobladura es mayor.

Cada espiral consiste en 10 varillas, variando su diámetro y largo de acuerdo al diámetro del conductor. Para conductores de ACSR mayores de 2/0 AWG., estas varillas son cónicas en sus puntas.

Las varillas de Armada se suministran rectas y las espirales se forman en el conductor al momento del montaje de la línea, por medio de una llave especial, asegurándolas al conductor con unas grapas.

AMORTIGUADORES DE VIBRACION.- El tipo stockbridge es el dispositivo más eficaz contra la vibración y cuando está convenientemente instalado, elimina casi completamente la vibración.

La acción del amortiguador se reduce a absorver continuamente la energía de las vibraciones incipientes impartidas al conductor por el viento, previniendo de este modo el crecimiento de su amplitud. Este amortiguador consiste en un peso resaltante provisto de un acople apropiado para sujetarlo al conductor.

En este proyecto, se usarán ambos sistemas de protección:

- Las Varillas de Armada de 86" de longitud tipo cónico en las estructuras de suspensión;

- Los amortiguadores de vibración de 21-13/16" de longitud y 13,6 lbs. de peso, serán usados a ambos lados de vanos de amarre muerto, a una distancia de 1,30 mts. desde el eje del aislador para estructuras de suspensión y 1,20 mts. desde el final del empalme del aislador en estructuras de tensión.

En el cable de acero para la línea de tierra se usarán únicamente amortiguadores de suspensión de 13-3/8" de largo y 3,50 lbs. de peso. Estos amortiguadores se usarán a ambos lados de vanos de más de 270 mts. a una distancia de 0,50 mts. de la torre.

AISLADORES.- De acuerdo al tipo de estructuras a usarse en la línea, se necesitan dos clases de cadenas de aisladores:

1) Aisladores de suspensión que serán usados en las torres de tangente con ángulos de deflexión de hasta 5°.
2) Aisladores de tensión que se utilizarán en las torres de ángulo y en las especiales.

En las figuras Nos. 10 y 11, se han dibujado las cadenas con sus accesorios de montaje para ambos casos, debiendo tomarse en cuenta que, por razones de aislamiento, la cadena para estructuras de tensión estará

formada por 5 aisladores y la cadena para estructuras de suspensión por 4 aisladores.

VARILLAS DE TIERRA.- En el diseño de la línea contra descargas, se mencionaba la necesidad de reducir la resistencia al pie de la torre, tanto como económicamente sea posible. Las torres naturalmente tienen una superficie grande en contacto con el suelo, pero sucede que muchas veces no se obtiene la resistencia adecuada de tierra, razón por la cual, se pueden obtener resultados óptimos por medio de varillas de tierra, las cuales pueden ser colocadas durante la construcción de la línea y si es necesario después de que ella esté en servicio.

El tratamiento químico del suelo no se considera muy adecuado en el diseño de las líneas actuales de transmisión, siendo su uso más indicado en las subestaciones.

El diámetro de las varillas de tierra no influye mayormente en la resistencia, pero en cambio el largo de ellas es muy importante. Por este motivo lo mejor es usar varillas delgadas pero muy largas, o varias varillas delgadas.

Profundidad

Conociendo la resistencia específica del suelo, se puede determinar el número y longitud de varillas de tierra necesarias para obtener la resistencia al pie de la torre igual a 10 ohmios, que ha sido anteriormente fijada.

Podemos suponer, para la zona de la línea de transmisión, valores de resistividad de 10.000 ohmios centímetro, o sea valores promedios de resistencia.

Aplicando la fórmula siguiente para el caso de dos varillas de tierra de 3 mts. de longitud y 3/4" de diámetro: (1,9 cmts.)

$$R = \frac{\rho}{4\pi L}\left[\text{Logn}\ \frac{4L}{a} - 1\right] + \frac{\rho}{4\pi S}\left[1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4}\right]$$

en que:

R = Resistencia a tierra

L = Longitud de la varilla en mts.

a = Diámetro de la varilla en mts.

S = Separación entre varillas en mts. (4,00 mts.)

ρ = Resistencia específica en Ohmios metro

$$R = \frac{100}{4 \times 3{,}14 \times 3}\left[\text{Logn}\ \frac{1.2}{0{,}019} - 1\right] + \frac{100}{4 \times 3{,}14 \times 4}\left[1 - \frac{9}{48} + \frac{2 \times 81}{5 \times 256}\right]$$

$R = 2,65\ (5,447) + 2\ (0,939)$

$R = 16,3$ ohmios

En el caso de una sola varilla de tierra tendríamos:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left[\text{Logn}\ \frac{4L}{a} - 1\right] = 5,3 \times 5,447 = 28,8 \text{ Ohmios}$$

De estos dos valores de resistencia a tierra podemos deducir que con 4 varillas se puede obtener un valor igual o inferior a 10 ohmios de resistencia al pie de la torre.

Por supuesto que durante el montaje y aún después, será necesario tomar medidas de resistencia, para corregir cualquier valor que esté en exceso de los 10 Ohmios.

La unión de la varilla de tierra con la base de la torre, se realizará por medio de un cable de cobre No. 2 AWG.

En la tabla No.8 se indican los materiales para cada estructura y vano, necesarios en la construcción de la línea de transmisión. Luego se sacará un resumen de dicha tabla para especificar detalladamente cada uno de ellos.

DISEÑO ELECTRICO

CARACTERISTICAS ELECTRICAS.- Las constantes fundamentales: Resistencia, Reactancia, Impedancia, Conductancia, Susceptancia y Admitancia, son independientes del voltaje, corriente y factor de potencia; siendo determinadas primordialmente por el material, calibre y espacio entre conductores.

La resistencia del conductor de Aluminio ACSR 477 MCM 26/7 es igual a 0,216 ohmios por milla, lo que nos da un valor de 0,468 ohmios para la longitud total de 2,17 millas, para una temperatura de 50°C y una frecuencia de 60 ciclos por segundo.

$$R = 0,468 \text{ Ohmios}$$

REACTANCIA (X).- La reactancia para el conductor de Aluminio ACSR 477 MCM 26/7, a una distancia equivalente de un pie y 60 ciclos por segundo, es igual a: 0,430 ohmios por milla y por conductor.

$$Xa = 0,430 \text{ Ohmios/milla}$$

$$Xd = 0,2794 \text{ Log } d \text{ (para 60 ciclos)}$$

$$Xd = 0,2794 \text{ Log} \sqrt[3]{a\ b\ c} = 0,2794 \text{ Log} \sqrt[3]{5,9 \times 5,9 \times 11,8}$$

$Xd = 0,2794 \text{ Log } 7,43 = 0,2794 \times 0,87099 = 0,2433$

$X = Xa + Xd = 0,430 + 0,2433 = 0,6733$ ohmios/milla

$X = 0,6733 \times 2,17 = 1,461$ Ohmios

X = Reactancia inductiva en Ohmios

Xa = Reactancia inductiva en Ohmios para una distancia equivalente a 1'

Xd = Factor de separación de la Reactancia Inductiva

d = Distancia equivalente que es igual a $\sqrt[3]{abc}$ siendo abc las separaciones en pies de los conductores en la torre.

IMPEDANCIA (Z).- Se expresa en ohmios por conductor y se determina de la ecuación:

$$Z = R + jX$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

CONDUCTANCIA (G).- Se expresa en Mhos y está determinada por la corriente de fuga de un conductor a través del aire o por los aisladores. Para las líneas aéreas bien aisladas este valor se puede poner igual a:

$$G = 0$$

SUSCEPTANCIA (B).- Se expresa en Mhos

$$B = \frac{1}{Xc} = \frac{1}{Xa' + Xd'}$$

Xa' Reactancia capacitiva para el conductor de Aluminio ACSR 477 MCM 26/7 a 60 ciclos y una distancia equivalente de 1', es igual a 98.834 Ohmios por milla por conductor.

Xd' o sea el factor de separación de la reactancia capacitiva para una distancia equivalente de 7,43 pies es igual a:

$Xd' = 68.310 \times \text{Log } 7,43$

$Xd' = 59.497$ Ohmios

$Xc = 98.834 + 59.497 = 158.331$ Ohmios/milla

$Xc = 158.331$ Ohmios por milla

$$B = \frac{1}{158.331} = 0.0000063 \text{ mhos/milla}$$

$B = 0,00001367$ Mhos

ADMITANCIA (Y).- Se expresa en Mhos por conductor y se determina de la ecuación:

$Y = G + jB$

$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$

$Y = 0 + j\ 0.00001367$ Mhos

Como resumen tenemos: para el cable 477 MCM 26/7

de Aluminio ACSR, con una distancia equivalente de .. 7,43 pies y 2,17 millas de longitud

R = 0,468 Ohmios

X = 1,461 Ohmios

G = 0 Mhos

B = 0,00001367 Mhos

Z = 0,468 + j 1,461

Y = 0 + j 0,00001367

Es necesario introducir las constantes eléctricas de los transformadores al determinar el comportamiento del sistema. En el caso de la Línea de Transmisión NAYON-CUMBAYA, tenemos únicamente transformadores de elevación al comienzo de la Línea, cuyos valores son los siguientes:

R = 0,567%

X = 6,5%

$$R = \frac{rE^2}{100\ K} = \frac{0,567 \times \overline{46.000}^2}{100 \times 16.666} = 0,719 \text{ Ohmios}$$

$$X = \frac{xE^2}{100\ K} = \frac{6,5}{100} \times \frac{\overline{46.000}^2}{16.666} = 8,25 \text{ Ohmios}$$

En los que:

r = voltios de resistencia en porcentaje del voltaje nominal

x = voltios de reactancia en porcentaje del voltaje nominal

R = Resistencia por conductor en Ohmios

X = Reactancia por conductor en Ohmios

E = Voltaje nominal entre conductores

K = Capacidad nominal en voltamperios

A los valores de R y X de la línea se sumarán las respectivas de los transformadores; suponiendo que la resistencia y reactancia totales están uniformemente repartidas, a lo largo de la línea, siendo el error al hacer esta suposición muy pequeño y que no es digno de tomarse en cuenta.

De este modo tenemos el siguiente cuadro de las características de la línea y transformadores:

	R	X	G	B
Línea	0.468	1.461	0	0.00001367
Transformadores	0.719	8.25	-	-.-
TOTALES	1.187	9.711	0	0.00001367

$Z = 1.187 + j\ 9.71$

$Y = 0 + j\ 0.00001367$

REGULACION Y PERDIDAS.- En el caso presente es necesario conocer la caída de tensión, manteniendo constante el voltaje de llegada al Patio de Distribución de Cumbayá.

Se puede considerar a esta Línea de Transmisión como una impedancia Z, ya que debido a su pequeña longitud, el efecto de capacitancia será menor que 0,1%.

De donde podemos escribir que:

$$Es = Er + Zl$$

$$Es = \sqrt{(Er \cos \theta r + IR)^2 - (Er \sin \theta + IX)^2}$$

Para cada circuito tenemos:

Er = Voltaje de llegada = 46.000 V $/\sqrt{3}$

Factor Potencia Cos θ = 0.9

KW = 14.433,5 (Potencia Generada)

$$Er = \frac{46.000}{\sqrt{3}} = 26.589 = \text{Voltaje al neutro}$$

$$Is = \frac{KVA}{3 \times 26.589} = \frac{1.603}{3 \times 26.589} = \text{Amperios/conductor}$$

Is = 201,5

$$Es = \sqrt{(26.589 \times 0.9 + 201,5 \times 1,187)^2 + (26.589 \times 0,435 + 201,5 \times 9,71)^2}$$

$$Es = \sqrt{766.985.045} = 27.694.4$$

Caída de Tensión: 47.911.3 - 46.000 = 1.911.3

Porcentaje de Regulación:

$$\frac{100\ (Es - Er)}{Er} = \frac{100 \times 1.911,3}{46.000} = 4,155\%$$

Este porcentaje está dentro de los límites aceptables y si tomamos en cuenta que se ha incluído la impedancia de los transformadores de elevación, en este cálculo se puede deducir que el porcentaje de regulación para la Línea de Transmisión será mucho menor.

Pérdidas de Potencia: Debidas a la resistencia ohmica de los conductores y es igual a:

$$3I^2R = 3 \times (201,5)^2 \times 1,187 = 144,584 \text{ watios}$$

en porcentaje tenemos:

$$p = \frac{144,584}{14.433} \times 100 = 1,0017\%$$

lo cual también es aceptable para una Línea de Transmisión.

COMPORTAMIENTO DE LA LINEA BAJO DIFERENTES CARGAS.-

Bajo este capítulo se estudiarán las variaciones de voltaje de salida, factor de potencia, carga, pérdidas, etc., manteniendo constantes los valores de voltaje de llegada Er y factor de potencia Cos θ r

$Er = 46.000$ voltios

$\cos \theta r = 0.9$

PARA 14.433,5 KW.-

$$Es = \sqrt{(Er \cos \theta + IR)^2 + (Er \sin \theta + IX)^2}$$

$Es = 27.694,4$ voltios (cálculo anterior)

$Is = 201,5 \text{ A} = Ir$

$$\cos \theta s = \frac{Er \cos \theta r + IR}{Es} = \frac{24.169}{27.694,4} = 0,8727$$

$Ps = 3EsIs \cos \theta s$

$= 3 \times 27.694,4 \times 201,5 \times 0,8727$

$Ps = 14.610$

$KVA = 3 \times 27.694,4 \times 201,5$

$KVA = 16.741,2$ KVA

Pérdida de Potencia.-

$14.610 - 14.433,5 = 176,5$ KW

Pérdida en Porcentaje.-

$$\frac{176,5}{14.610} \times 100 = 1,208$$

Rendimiento.-

$$\frac{14.433,5}{14.610} = 0,9879$$

CALCULO PARA 10.000 KW.-

$Er = 46.000$ V

$\cos \theta r = 0.9$

$Is = Ir = 139,62$

$$Es = \sqrt{(Er \cos \theta r + IR)^2 + (Er \sin \theta r + IX)^2}$$

$$Es = \sqrt{(23.930 + 165,72)^2 + (11.566 + 1.355,84)^2}$$

$$Es = \sqrt{(24.095,72)^2 + (12.921,84)^2}$$

$$Es = \sqrt{580.603.722 + 166.739.489}$$

$$Es = \sqrt{747.343.211}$$

$$Es = 27.337$$

$$\cos \theta s = \frac{Er \cos \theta r + Ir}{Es} = \frac{24.095,72}{27.337} = 0,8814$$

$$\cos \theta s = 0.8814$$

$$KVA = 3EsIs = 3 \times 27.337 \times 139,62$$

$$KVA = 11.450,37 \text{ KVA}$$

<u>Potencia.-</u>

$$KW = KVA \times \cos \theta s$$

$$KW = 11.450,37 \times 0,8814 = 10.092,35 \text{ KW}$$

<u>Pérdidas de Potencia.-</u>

$$10.092,35 - 10.000 = 92,35 \text{ KW}$$

<u>Pérdidas en Porcentaje.-</u>

$$100 \times \frac{92,35}{10.092,35} = 0,915\%$$

Rendimiento: $\frac{10.000}{10.092,35} = 0,9908$

<u>CALCULO PARA 5.000 KW.-</u>

$$Er = 46.000 \text{ V}$$

$$\cos \theta r = 0.9$$

$Is = Ir = 69,77$

$Es = (23.930 + 82,81)^2 + (11.566 + 677,53)^2$

$Es = (24.012,81)^2 + (12.233,53)^2$

$Es = 726.274.300$

$Es = 26.949$

$$\cos \theta s = \frac{Er \cos \theta r + Ir}{Es} = \frac{24.012,81}{26.949} = 0,891$$

$\cos \theta s = 0,891$

$KVA = 3EsIs = 3 \times 26.949 \times 69,77$

$KVA = 5.640,69$

Potencia.-

$KW = KVA \times \cos \theta s$

$KW = 5.640,69 \times 0,891 = 5.025,85$

Pérdidas de Potencia.-

$5.025,85 - 5.000 = 25,85$ KW

Pérdidas de Porcentaje.-

$$\frac{25,85 \times 100}{5.026} = 0,514\%$$

$$\text{Rendimiento } \frac{5.000}{5.025,85} = 0,9948$$

Por medio de las constantes derivadas A B C se puede realizar un estudio más preciso de la línea de transmisión ya que para un circuito determinado, estas

constantes toman en cuenta la distribución uniforme de las características r-x-g-b a lo largo de la línea.

Estas donstantes derivadas pueden definirse de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$A = a_1 + ja_2 = 1 + \frac{YZ}{2} + \frac{Y^2Z^2}{24} \ldots\ldots$$

$$B = b_1 + jb_2 = Z\left(1 + \frac{YZ}{6} + \frac{Y^2Z^2}{120} \ldots\ldots\right)$$

$$C = c_1 + jc_2 = Y\left(1 + \frac{YZ}{6} + \frac{Y^2Z^2}{120} \ldots\ldots\right)$$

De donde tenemos las siguientes ecuaciones para condiciones prefijadas al lado de llegada (Ver figura).

$$Es = ErA + IrB$$

$$Is = IrA + ErC$$

$$\cos \theta s = \frac{Es_1\ Is_1 + Es_2\ Is_2}{Es\ \ Is}$$

$$Ps = Es\ Is \cos \theta s = Es_1\ Is_1 + Es_2\ Is_2$$

Es = Voltaje de salida del generador

Is = Corriente de salida del generador

Es_1= Componente en fase del voltaje

Es_2= Componente en cuadratura del voltaje

Is_1= Componente en fase de la corriente

Is_2= Componente en cuadratura de la corriente

PARA 14.433,5 KW.-

$Er = 26.589$

$Ir = 201,5$

$\cos \theta r = 0,9$

$\sin \theta r = 0,436$

$Es = ErA + IrB$

$Ir = Ir (\cos \theta - j \sin \theta)$

$Ir = 201,5 \times 0,9 - j\ 201,5 \times 0,436$

$Ir = 181,35 - j\ 87,854$

$Es = 26.589\ (0,999934 + j\ 0,00000811) +$

$(181,35 - j\ 87,854)\ (1,187 + j\ 9,71)$

$Es = (26.587,2 + j\ 0,2156) + (1,068,324 + j\ 1.656,625)$

$Es = (27.665,52) + j\ (1.656,84)$

$Es = \sqrt{(27.655,52)^2 + (1.656,84)^2}$

$Es = \sqrt{767.572.904}$

$Es = 27.705$

Angulo formado entre Er y Es es igual a:

$tg^{-1}\ 1.656,84/27.655,52 = 3^{o}\ 25' = \delta$

$Is = IrA + Erc$

$Is = (181,35 - j\ 87,854)\ (0,999934 + j\ 0,00000811)$

$+ 26.589\ (-0,369 \times 10^{-12} + j\ 0,00001367)$

$Is = (181,337 - j\ 87,847) + (j\ 0,363)$

$Is = (181,337 - j\ 87,484)$

$Is = \sqrt{(181,337)^2 + (87,484)^2}$

$Is = \sqrt{40.536,013} = 201,3$

$$\cos \theta s = \frac{Es_1\ Is_1 - Es_2\ Is_2}{Es\ Is}$$

$$\frac{(27.655,52 \times 181,337) - (1.656,84 \times 87,484)}{27.705 \times 201,3}$$

$$\frac{5.014.969 - 144.947}{5.807.865}$$

$$\cos \theta s = \frac{4.870,022}{5.577,016} = 0,873$$

$Ps = 3(Es_1\ Is_1 - Es_2\ Is_2)$

$Ps = 4.870.022 \times 3 = 14.610.066\ W$

$Ps = 14.610\ KW$

$VA = 3\ EsIs = 5.577.016 \times 3$

$KVA = 16.731,048$

<u>PARA 0 KW.-</u>

$Er = 26.589$

$Ir = 0$

$\cos \theta r = 0,9$

$\sin \theta r = 0,436$

$Es = ErA + IrB$

$Es = 26.589\ (0.9999 + j\ 0.00000811)$

$$Es = 26.587,2 + j\ 0,2156$$

$$Es = \sqrt{(26.587,2)^2 + (0,2156)^2}$$

$$Es = 26.587,2$$

$$Is = IrA + ErC$$

$$Is = ErC$$

$$Is = 26.589\ (-0,369 \times 10^{-12} + j\ 0,00001366)$$

$$Is = j\ 0,363$$

$$Is = \sqrt{0,363^2} = 0,363$$

$$\cos \theta s = -\frac{Es_2\ Is_2}{Es\ Is}$$

$$\cos \theta s = -\frac{0,215 \times 0,363}{26.587,2 \times 0,363} = \frac{0,078045}{9.651}$$

$$\cos \theta s = -\frac{0,078}{9.651} = -0,000008$$

$$Ps = 0,078 \times 3 = 0,234\ KW$$

$$KVA = 3\ Es\ Is = 28,95\ KVA$$

CORONA.- El fenómeno conocido con el nombre de Corona se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire es elevado a un valor tal, que la rigidez dieléctrica del aire es excedida, produciéndose pérdidas de energía. La predeterminación de estas pérdidas es muy incierta, dado que dependen en gran parte del estado de la superficie de los conductores y de

las condiciones del tiempo.

La tensión crítica en Kilovoltios con respecto al neutro Eo, es el voltaje en que las pérdidas de Corona comienzan a producirse; para condiciones de buen tiempo es igual a:

$$Eo = 21,1 \text{ Mord Loge } S/r \text{ KV}$$

en la cual:

d = densidad relativa del aire igual a $\frac{3,92b}{273 + t}$

b = presión barométrica en centímetros

(273 + t) = temperatura absoluta del medio ambiente en grados centígrados.

Mo = Factor de irregularidad de la superficie del conductor, que varía entre 0,80 y 0,87 para conductores cableados.

r = radio del conductor en cmts.

S = Distancia entre conductores en cmts.

21,1 es la gradiente disruptiva del aire, siendo constante para todos los conductores a 25°C y 76 cmts. de presión barométrica.

Los valores adoptados son los siguientes:

Temperatura = 25°C

Presión barométrica a 2.200 mts. sobre el nivel del mar = 54 cmts.

Factor de irregularidad = 0,84

Radio del conductor = 1,09 cmts.

Distancia entre conductores = 180 cmts.

$$d = \frac{3,92 \times 54}{273 + 25^{o}} = 0,707$$

$$Eo = 21,1 \times 0,84 \times 1,09 \times 0,707 \times 2,303 \log 180/1,09$$

Eo = 79,5 Kilovoltios al neutro

En vista del alto voltaje a que se presentarían las pérdidas causadas por el efecto corona, podemos afirmar que en esta Línea de Transmisión no se producirán pérdidas de energía por este concepto.

CALCULO DE IMPEDANCIA PARA SECUENCIA CERO.- Son las que determinan el flujo de corriente a tierra, cuando existen condiciones de desequilibrio a tierra.

La impedancia de Secuencia Cero está en función de: tamaño del conductor; espaciamiento entre conductores; posición relativa de los conductores con respecto al cable de tierra; características eléctricas del cable de tierra; y resistividad del circuito de retorno de tierra.

La fórmula de impedancia para dos circuitos paralelos asume que los conductores están simétricamente colocados, entre ellos y con respecto al cable de tierra.

$$Zo = 1/2 \left[Z_{11} + 2Z_{12} + 3Z_{14} - 6 \frac{(Z_{17})^2}{(Z_{77})} \right]$$

Z_{11} = Impedancia propia de un conductor

Z_{77} = Impedancia propia del cable de tierra

Z_{12} = Impedancia mutua entre dos conductores de un circuito

Z_{14} = Impedancia mutua entre un conductor de un circuito y un conductor del otro circuito

Z_{17} = Impedancia mutua entre 1 conductor y el cable de tierra

Zo = Está expresada en ohmios/milla

$$Z_{11} = 0.00159f + Ra + j\ 0.004657f \log 10 \frac{De}{GMR}$$

f = Frecuencia

GMR = 0.029

Ra = Resistencia de un conductor en ohmios/milla

$De = 2.160 \sqrt{\rho/f}$

ρ = Resistividad del suelo en ohmios-metro = 100

$De = 2.160 \sqrt{100/60} = 2.764$

$Z_{17} = 0.0954 + j\ 0.27942\ \log10\ 171$

$Z_{17} = 0.0954 + j\ 0.27942 \times 2{,}233$

$Z_{17} = 0.0954 + j\ 0.624$

$Z_{77} = 0.00159\ f + Ra + j\ (Xec + K)$ (Para cable acero)

$K = 0.581$

$Z_{77} = 0.0954 + 6.03 + j\ (0.004657\ f\ \log10\ \frac{De}{rc} + K)$

rc = radio conductor en pies

$Z_{77} = 6.1254 + j\ (0.27942\ \log10\ \frac{2.764}{0.0156} + 0.581)$

$Z_{77} = 6.1254 + j\ (0.27942\ \log10\ 177.100 + 0.581)$

$Z_{77} = 6.1254 + j\ (0.27942 \times 5{,}24822 + 0.581)$

$Z_{77} = 6.1254 + j\ 1.466 + 0.581$

$Z_{77} = 6.1254 + j\ 2.047$

$$Zo = 1/2\left[(0.3114 + j\ 1.291) + 2(0.0954 + j\ 0.716) + 3(0.0954 + j\ 0.636) - 6\frac{(0.0954 + j\ 0.624)^2}{6.1254 + j\ 2.047}\right]$$

$$Zo = 1/2\left[(0.3114 + j\ 1{,}291) + (0.1908 + j\ 1{,}432) + (0.2862 + j\ 1.908) + \frac{(-2.280 + j\ 0.654)}{6.1254 + j\ 2.047}\right]$$

$$Zo = 1/2\left[(0.7884 + j\ 4.631) - (-0.302 + j\ 0.207)\right]$$

$Zo = 1/2\ (1.090 + j\ 4.424)$

$Zo = 0.545 + j\ 2.212$ Ohmios/milla

$Zo = 2,2(0,545 + j\ 2,212)$

$Zo = (1,09 + j\ 4,86)$ Ohmios para la Línea de Transmisión NAYON-CUMBAYA.

-.- -.-

CALCULO DE LAS FLECHAS DE MONTAJE.- Con la ayuda de las tablas de Martin, deducidas de las ecuaciones de la catenaria, es posible calcular las flechas para el vano regular de 250 mts., para diferentes temperaturas, que en este caso particular se tomarán de 0°C hasta 40°C escalonadas cada 5°C.

Por medio de interpolaciones se puede obtener la flecha para una temperatura intermedia que no esté comprendida en la tabla de flechas de montaje.

En primer lugar se calcularán las flechas para el conductor de Aluminio ACSR 477 MCM 26/7.

VANO 250 mts.
Temperatura 0°C

A = 0,13125

B = 7,6036533

C = 1,0007210

D = 0,00014275

E = 0,0010854

F = 0,9996356

G = 0,0

H = 0,9996356

I = 0,00009725

J = 9

K = 0,0139000

L = 3,475

La nomenclatura usada en el cálculo de las flechas por medio de las tablas de Martin es la misma que se empleó para encontrar la flecha máxima al determinar el vano más económico.

VANO 250 mts.
Temperatura 5°C

F = 0,9996356

G = 0,0000960

H = 0,9997316

I = 0,00009725

J = 8,57

K = 0,0146015

L = 3,650

VANO 250 mts.
Temperatura 10°C

F = 0,9996356

G = 0,0001920

H = 0,9998276

I = 0,00009725

J = 8,19

K = 0,0152832

L = 3,820

VANO 250 mts.
Temperatura 15°C

F = 0,9996356

G = 0,0002880

H = 0,9999236

I = 0,00009725

VANO 250 mts.
Temperatura 20°C

F = 0,9996356

G = 0,0003840

H = 1,0000196

I = 0,00009725

J = 7,8

K = 0,0160384

L = 4,009

J = 7,48

K = 0,0167511

L = 4,187

VANO 250 mts.
Temperatura 25°C

F = 0,9996356

G = 0,0004800

H = 1,0001156

I = 0,00009725

J = 7,16

K = 0,0174872

L = 4,371

VANO 250 mts.
Temperatura 30°C

F = 0,9996356

G = 0,0005760

H = 1,0002116

I = 0,00009725

J = 6,89

K = 0,0181809

L = 4,545

VANO 250 mts.
Temperatura 35°C

F = 0,9996356

G = 0,0006720

H = 1,0003076

I = 0,00009725

J = 6,63

K = 0,0188750

L = 4,718

VANO 250 mts.
Temperatura 40°C

F = 0,9996356

G = 0,0007680

H = 1,0004036

I = 0,00009725

J = 6,38

K = 0,0196327

L = 4,908

Luego de obtenidas las flechas del vano regular de 250 mts. para diferentes temperaturas, es posible

calcular las flechas de montaje para los diferentes vanos de la Línea de Transmisión y que son proporcionales al cuadrado de la distancia de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$F = \frac{WS^2}{8T}$$

Podemos encontrar primero el valor de $\frac{W}{8T}$ de las flechas del vano regulador de 250 mts.

Para 0°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{F}{S^2} = \frac{3,475}{62.500} = 0,0000556$$

Para 5°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{3,650}{62.500} = 0,0000584$$

Para 10°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{3,820}{62.500} = 0,00006112$$

Para 15°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{4,009}{62.500} = 0,00006414$$

Para 20°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{4,187}{62.500} = 0,00006699$$

Para 25°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{4,371}{62.500} = 0,00006993$$

Para 30°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{4,545}{62.500} = 0,00007272$$

Para 35°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{4,718}{62.500} = 0,00007548$$

Para 40°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{4,908}{62.500} = 0,00007852$$

Con los valores arriba encontrados se ha confeccionado el cuadro de flechas de montaje para las diferentes vanos de la Línea de Transmisión, multiplicando el valor de $\frac{W}{8T}$ de la temperatura correspondiente por el cuadrado del vano para el cual se busca la flecha, excepción hecha de los dos vanos adyacentes a los Patios de Distribución de Nayón y Cumbayá, cuya máxima tensión de trabajo es de 1.363 Kgs. debiendo calcularse sus flechas independientemente.

Cálculo de las flechas para el conductor 477 MCM ACSR 26/7 en los vanos adyacentes a los Patios de Distribución de Nayón y Cumbayá, con una tensión de trabajo máxima de 1.363 Kgs.

VANO 145 mts.
Temperatura 0°C

VANO 75 mts.
Temperatura 0°C

A = 0,1521

B = 6,5726010

C = 1,0009685

D = 0,0000828

E = 0,00054421

F = 1,0004243

G = 0,0

H = 1,0004243

I = 0,00005645

J = 7,13

K = 0,0175503

L = 2,544

A = 0,07868

B = 12,7068791

C = 1,0002583

D = 0,00004282

E = 0,000544108

F = 0,9997142

G = 0,0

H = 0,9997142

I = 0,00002920

J = 15,7

K = 0,0079424

L = 0,595

VANO 145 mts.
<u>Temperatura 5°C</u>

F = 1,0004243

G = 0,0000960

H = 1,0005203

I = 0,00005645

J = 6,79

K = 0,0184333

L = 2,672

VANO 75 mts.
<u>Temperatura 5°C</u>

F = 0,9997142

G = 0,0000960

H = 0,9998102

I = 0,00002920

J = 13,88

K = 0,0090068

L = 0,675

VANO 145 mts.
Temperatura 35°C

F = 1,0004243

G = 0,0006720

H = 1,0010963

I = 0,00005645

J = 5,45

K = 0,0229898

L = 3,333

VANO 75 mts.
Temperatura 35°C

F = 0,9997142

G = 0,0006720

H = 1,0003862

I = 0,00002920

J = 8,19

K = 0,0152832

L = 1,146

VANO 145 mts.
Temperatura 40°C

F = 1,0004243

G = 0,0007680

H = 1,0011923

I = 0,00005645

J = 5,28

K = 0,0237493

L = 3,443

VANO 75 mts.
Temperatura 40°C

F = 0,9997142

G = 0,0007680

H = 1,0004822

I = 0,00002920

J = 7,68

K = 0,0162902

L = 1,221

CALCULO DE LAS FLECHAS DE MONTAE PARA EL CABLE DE TIERRA DE 3/8"

VANO 250 mts.
Temperatura 0°C

A = 0,1065

G = 0,000180

H = 0,99909

I = 0,0001046

J = 11,62

K = 0,0107616

L = 2,690

G = 0,000240

H = 0,99915

I = 0,0001046

J = 11,26

K = 0,011044

L = 2,76

VANO 250 mts.
Temperatura 25°C

F = 0,99891

G = 0,000300

H = 0,99921

I = 0,0001046

J = 10,98

K = 0,113887

L = 2,847

VANO 250 mts.
Temperatura 30°C

F = 0,99891

G = 0,000360

H = 0,99927

I = 0,0001046

J = 10,52

K = 0,118907

L = 2,972

VANO 250 mts.
Temperatura 35°C

F = 0,99891

G = 0,000420

H = 0,99933

I = 0,0001046

J = 10,19

K = 0,122672

L = 3,066

VANO 250 mts.
Temperatura 40°C

F = 0,99891

G = 0,000480

H = 0,99939

I = 0,0001046

J = 9,89

K = 0,126448

L = 3,160

Para 0°C

$$F = \frac{WS^2}{8T} \; ; \; \frac{W}{8T} = \frac{2,439}{62.500} = 0,00003902$$

Para 5°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{2,518}{62.500} = 0,00004028$$

Para 10°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{2,596}{62.500} = 0,00004153$$

Para 15°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{2,690}{62.500} = 0,00004304$$

Para 20°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{2,76}{62.500} = 0,00004416$$

Para 25°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{2,847}{62.500} = 0,00004555$$

Para 30°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{2,972}{62.500} = 0,00004755$$

Para 35°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{3,066}{62.500} = 0,00004905$$

Para 40°C

$$\frac{W}{8T} = \frac{3,160}{62.500} = 0,00005056$$

CALCULO DE FLECHAS DE MONTAJE PARA EL CABLE DE TIERRA en los vanos adyacentes a los Patios de Distribución de Nayón y Cumbayá, para una tensión máxima de trabajo de 750 Kgs.

VANO 145 mts. Temperatura 0°C	VANO 75 mts. Temperatura 0°C
A = 0,1248	A = 0,064456
B = 7,9947840	B = 15,5021196
C = 1,0006538	C = 1,0001736
D = 0,0000965	D = 0,00004994
E = 0,000771496	E = 0,000774175
F = 0,9998824	F = 0,9993995
G = 0	G = 0
H = 0,9998824	H = 0,9993995
I = 0,00006072	I = 0,00003140
J = 9,51	J = 21,7
K = 0,0131461	K = 0,0057518
L = 1,906	L = 0,431

VANO 145 mts. Temperatura 5°C	VANO 75 mts. Temperatura 5°C
F = 0,9998824	F = 0,9993995
G = 0,0000600	G = 0,0000600
H = 0,9999424	H = 0,9994595

I = 0,00006072

J = 9,16

K = 0,136486

L = 1,979

I = 0,0000314

J = 20,2

K = 0,0061906

L = 0,464

VANO 145 mts.
Temperatura 10°C

F = 0,9998824

G = 0,0001200

H = 1,0000024

I = 0,00006072

J = 8,80

K = 0,0142142

L = 2,061

VANO 75 mts.
Temperatura 10°C

F = 0,9993995

G = 0,0001200

H = 0,9995195

I = 0,0000314

J = 18,86

K = 0,0066276

L = 0,497

VANO 145 mts.
Temperatura 15°C

F = 0,9998824

G = 0,0001800

H = 1,0000624

I = 0,00006072

J = 8,50

K = 0,0147172

L = 2,134

VANO 75 mts.
Temperatura 15°C

F = 0,9993995

G = 0,0001800

H = 0,9995795

I = 0,0000314

J = 17,54

K = 0,0071284

L = 0,534

VANO 145 mts.
Temperatura 20°C

F = 0,9998824

G = 0,000240

H = 1,0001224

I = 0,00006072

J = 8,21

K = 0,0151992

L = 2,203

VANO 75 mts.
Temperatura 20°C

F = 0,9993995

G = 0,000240

H = 0,9996395

I = 0,0000314

J = 16,39

K = 0,0076292

L = 0,572

VANO 145 mts.
Temperatura 25°C

F = 0,9998824

G = 0,0003000

H = 1,0001824

I = 0,00006072

J = 7,93

K = 0,0157866

L = 2,289

VANO 75 mts.
Temperatura 25°C

F = 0,9993995

G = 0,000300

H = 0,9996995

I = 0,0000314

J = 15,26

K = 0,0081926

L = 0,614

VANO 145 mts.
Temperatura 30°C

F = 0,9998824

G = 0,0003600

H = 1,0002424

VANO 75 mts.
Temperatura 30°C

F = 0,9993995

G = 0,0003600

H = 0,9997595

I = 0,00006072

J = 7,68

K = 0,0162902

L = 2,362

I = 0,0000314

J = 14,28

K = 0,0087563

L = 0,656

VANO 145 mts.
Temperatura 35°C

F = 0,9998824

G = 0,00042

H = 1,0003024

I = 0,00006072

J = 7,43

K = 0,0168571

L = 2,444

VANO 75 mts.
Temperatura 35°C

F = 0,9993995

G = 0,0004200

H = 0,9998195

I = 0,0000314

J = 13,24

K = 0,0094453

L = 0,708

VANO 145 mts.
Temperatura 40°C

F = 0,9998824

G = 0,00048

H = 1,0003624

I = 0,00006072

J = 7,21

K = 0,0173612

L = 2,517

VANO 75 mts.
Temperatura 40°C

F = 0,9993995

G = 0,0004800

H = 0,0008795

I = 0,0000314

J = 12,41

K = 0,0100720

L = 0,755

CUADRO No. 11

FLECHAS DE MONTAJE

CONDUCTOR: ACSR 477 MCM 26/7 VANO REGULAR: Indicado

CABLE DE TIERRA de acero de 3/8"

CARGA LIGERA: 0 hielo
43,9 Kg/m^2 presión viento a 0°C

MAXIMA TENSION: Conductor 1.363 Kg.
Cable de tierra 750 Kg.

ESTRUCTURA	PATIO DIST. CUMBAYA - No 1		PATIO DIST. NAYON - No 14	
VANO EN MTS.	145		75	
TEMPERATURA °C	CONDUCTOR	C. TIERRA	CONDUCTOR	C. TIERRA
0°C	2,544	1,906	0,595	0,431
5°C	2,672	1,979	0,675	0,464
10°C	2,782	2,061	0,764	0,497
15°C	2,901	2,134	0,835	0,534
20°C	3,019	2,203	0,915	0,572
25°C	3,121	2,289	0,995	0,614
30°C	3,223	2,362	1,070	0,656
35°C	3,333	2,444	1,146	0,708
40°C	3,443	2,517	1,221	0,755
	FLECHA EN METROS			

Los Materiales y Accesorios para la Línea de Transmisión NAYON-CUMBAYA, han sido divididos en tres grupos separados de especificaciones, a saber:

1) Conductores y Accesorios de la Línea;

2) Torres de Acero;

3) Cuchillas desconectadoras.

ESPECIFICACIONES PARA LA PROVISION DE CONDUCTORES Y ACCESORIOS DE LA LINEA DE TRANSMISION NAYON-CUMBAYA

MATERIALES QUE DEBEN SER SUMINISTRADOS

Item No.	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Conductor desnudo de aluminio con alma de acero, ACSR 477 MCM	23.000	metros
2	Cable de acero de 7 hilos, 3/8 de pulgada de diámetro, galvanizado ..	4.000	"
3	Cable de tierra, de cobre desnudo, No. 2 AWG	100	"
4	Varillas de tierra de cobre, tipo Copperweld de 3/4" x 3 mts.	56	unidads.
5	Abrazaderas para el cable de tierra	56	"
6	Abrazaderas para la varilla de tierra	56	"

Item No.	Descripción	Cantidad	Unidad
7	Cadenas de aisladores de suspensión tipo "A"	54	unidads.
8	Cadenas de aisladores de tensión tipo "B"	48	"
9	Cadenas de aisladores de tensión tipo "C"	24	"
10	Varillas de Armada para cable ACSR 477 MCM	54	"
11	Amortiguadores de vibración para conductor ACSR	120	"
12	Amortiguadores de vibración para cable de tierra	10	"
13	Grapas de suspensión para cable de tierra (Suspension Clamps) Tipo "D"	9	"
14	Grapas de tensión para cable de tierra (Tension Clamps) Tipo "E"	16	"
15	Juntas de compresión para cable ACSR y cable de tierra	1	lote

CONDICIONES GENERALES.- Todos los materiales, fabricación y pruebas deberán estar de acuerdo al último standard aplicable de la siguiente lista o a su equivalente en el país de fabricación del equipo:

ASTM : Sociedad Americana para prueba de materiales

ASA: Sociedad Americana de Standards

NEMA: Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos

AIEE: Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos

Los siguientes cuadros y dibujos, forman parte de estas especificaciones:

Cuadro No. 8.- Materiales y Accesorios para la Línea de Transmisión NAYON-CUMBAYA.

Dibujo No.10.- Accesorios de la Línea.

Dibujo No.11.- Accesorios de la Línea.

Item 1

CONDUCTOR DESNUDO DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO

El conductor será: Cable de Aluminio con alma de acero ACSR y deberá ser fabricado de acuerdo a las especificaciones ASTM B232, (Specifications for concentric lay Stranded Aluminium Conductors) y de acuerdo a las siguientes características:

	ACSR
Calibre del conductor	477 MCM
Carga de rotura	19.430 lbs.
Diámetro exterior	0.858"
Aluminio:	
Número de hilos	26
Diámetro	0.1355"
Acero:	
Número de hilos	7
Diámetro	0.1054"

El largo total será igual a 23.000 metros, debiendo ser entregado en bobinas de 1.000 metros cada una, aproximadamente.

Las pruebas deberán realizarse de acuerdo a las especificaciones aplicables.

Items 2 y 3

CABLE DE ACERO GALVANIZADO

El cable de acero para la línea de tierra deberá ser galvanizado, de alta resistencia a la tracción debiendo cumplir con las especificaciones ASTM A 122-41 y A 218-41 y de acuerdo a las siguientes características:

Diámetro:	3/8"
Número de hilos:	7
Tensión de rotura mínima:	10.800 lbs.

La longitud total requerida es igual a 4.000 mts., debiendo ser entregada en bobinas, cada una con una longitud de cable no menor de 500 mts.

CABLE DE COBRE DE TIERRA

El cable de tierra deberá ser No. 2 AWG, desnudo, templado (annealed), 7 hilos, debiendo estar de acuerdo con las especificaciones ASTM B 8-56 Clase "B".

La longitud total será de 100 metros.

Items 4, 5, y 6

VARILLAS DE TIERRA

Las varillas de tierra serán de 3/4" de diámetro y 3 mts. de longitud de copperweld. Serán fabricadas de tal modo que no presenten dificultades al hundir la varilla en el terreno.

Su número total asciende a 56 unidades.

ABRAZADERAS PARA CABLE DE TIERRA

Las abrazaderas para conectar el cable No.2AWG a la superficie de la torre, serán similares a los BURNDY tipo "GB" y deberán ser suministrados completos, incluyendo pernos, tuercas, contra-tuercas, rodelas, etc. Las abrazaderas deberán ser de cobre y los pernos de bronce-silicón.

Su número es de 56 unidades.

ABRAZADERAS PARA
VARILLA DE TIERRA

Las abrazaderas para conectar el cable No.2AWG a la varilla de tierra de 3/4" serán similares a BURNDY tipo "GA" y deberán ser suministradas completas, incluyendo la abrazadera que será fabricada de cobre, pernos de bronce-silicón, tuercas, arandelas, contratuercas, etc.

Items 7, 8, y 9

CADENAS DE AISLADORES

General.- Las cadenas de aisladores consistirán de el número indicado de aisladores, mordazas para sujetar a los conductores y las abrazaderas correspondientes para su conexión a la torre, como se indica en los dibujos respectivos, debiendo suministrarse además, pasadores, pernos, tuercas, rodelas, etc. que sean necesarios para el montaje completo de las cadenas.

Las cadenas tipo "B" y "C" son para ser utilizadas en estructuras de tensión y su diferencia radica en que las de tipo "B" estarán formadas de 5 aisladores y las de tipo "C" de 6 aisladores por cadena.

Las cadenas de aisladores serán suministradas de acuerdo al siguiente cuadro:

Item No.	Tipo de Cadena	Tipo de Conductor	Número Requerido
7	A	477 MCM ACSR con varillas de armada	54
8	B	477 MCM ACSR	48
9	C	477 MCM ACSR	24

Items 7, 8, y 9

La cadena de aisladores de suspensión constará de 4 aisladores Standard de 10" x 5-3/4" tipo "ball and socket".

Aisladores.- Los aisladores deberán ser fabricados de acuerdo al sistema Alta-gravedad, proceso húmedo de porcelana (high gravity wet process porcelain) debiendo cumplir las condiciones estipuladas en la última revisión de EEI Nema Standards, Clase 52-3.

Los aisladores serán del tipo de caperuza y vástago (ball and socket) y deberán soportar una tensión combinada eléctrica y mecánica de 15.000 lbs.

Los accesorios para las cadenas de aisladores podrán ser fabricados de compuesto de aluminio, hierro maleable o acero forjado.

Todas las partes metálicas deberán ser galvanizadas luego de su fabricación, de acuerdo al sistema (hot dip galvanized). Los sitios de contacto con el conductor deberán poseer forros de aluminio.

Item 10

VARILLAS DE ARMADA

Cantidad requerida: 54 juegos.

Cada juego constará de 10 varillas de aluminio de 86" de largo cada una; las varillas serán de forma cónica en sus extremos (tapered).

El diámetro máximo de las varillas luego de ser instaladas, no será mayor de 1,602".

Las varillas de armada se usarán para reforzar al conductor ACSR 477 MCM 26/7.

Para cada juego se suministrarán las mordazas o abrazaderas para sujetar las varillas de armada al conductor.

Dos juegos completos de llaves para trabajar las varillas de armada en el conductor, deberán ser suministradas.

Items 11 y 12

AMORTIGUADORES DE VIBRACION PARA CONDUCTOR

Cantidad requerida:120 unidades

Los amortiguadores de vibración serán del tipo Stockbridge de 13.6 lbs. cada uno.

Cada amortiguador deberá poseer una mordaza o abrazadera para sujetar al cable 477 MCM 26/7 y en el punto de contacto con el conductor deberá poseer una funda de aluminio.

AMORTIGUADORES DE VIBRACION PARA CABLE DE TIERRA

Cantidad requerida: 10 unidades.

Los amortiguadores de suspensión para el cable de tierra serán del tipo Stockbridge de 3.5 lbs. de peso.

Deberán tener una conexión apropiada de abrazadera o mordaza para cable de 3/8" de diámetro.

Items13 y 14

ABRAZADERAS DE SUSPENSION
PARA CABLE DE TIERRA

Cantidad requerida: 9 unidades.

Deberán poseer mordaza de tensión para cable de 3/8" de diámetro y conexión apropiada para la torre, como lo indican los dibujos. Luego de su fabricación, deberán ser galvanizados incluyendo los accesorios como pernos, tuercas, rodelas, etc.

Se suministrarán completas.

ABRAZADERAS DE TENSION
PARA CABLE DE TIERRA

Cantidad requerida: 16 unidades.

Estas abrazaderas deberán ser completas con mordazas de suspensión para cable de acero de 3/8" de diámetro y conexión apropiada a la torre, conforme puede verse en los dibujos correspondientes.

Deberán ser galvanizados en su totalidad incluyendo accesorios como pernos, tuercas, rodelas, etc.

Item 15

JUNTAS DE COMPRESION

Cantidad requerida:

Cable 477 MCM 26/7 ACSR = 23 unidades

Cable de acero 3/8" = 8 unidades

Las juntas de compresión para el cable de ACSR serán completas y consistirán de una conexión de acero y una de aluminio.

El empate del cable deberá desarrollar una tensión de rotura igual a un 95% de la del conductor y la conductibilidad deberá ser igual o mayor que la del conductor o cable de tierra.

TORRES DE ACERO PARA LA LINEA DE TRANSMISION NAYON-CUMBAYA

Bajo este concepto se suministrará toda la mano de obra, materiales, servicios de taller y equipo indispensable para realizar, de acuerdo a estas especificaciones, todo el trabajo necesario para diseñar y fabricar el equipo abajo mencionado:

2 Torres de celosía, de acero, de anclaje especial; para doble circuito y aisladores de tensión. Dos juegos de cuchillas separadoras serán instaladas en cada torre.

Altura del cuerpo de la torre: 12,15 mts. Tipo "E".

1 Torre de celosía, de acero, de ángulo de 45°-60° doble circuito y aisladores de tensión.

Altura del cuerpo de la torre: 12,15 mts. Tipo "A".

2 Torres de celosía, de acero, de ángulo de 45°-60° doble circuito y aisladores de tensión.

Altura del cuerpo de la torre: 13,15 mts. Tipo "A"

6 Torres de celosía, de acero, de tangente, doble circuito yaisladores de suspensión.

Altura del cuerpo de la torre: 12,15 mts. Tipo "T"

2 Torres de celosía, de acero, de tangente, doble circuito y aisladores de suspensión.

Altura del cuerpo de la torre: 14,15 mts. Tipo "T".

1 Torre de celosía, de acero, de tangente, doble circuito y aisladores de suspensión.

Altura del cuerpo de la torre: 13,15 mts. Tipo "T".

1 Lote de extensiones de las bases de las torres y ángulos de anclaje.

Todos los materiales, equipo, fabricación y pruebas, deberán estar de acuerdo con los standards y especificaciones aplicables de la siguiente lista o su equivalente en el país de fabricación.

ASTM : Sociedad Americana de prueba de materiales.

AWS : Sociedad Americana de Soldadura.

ASA : Sociedad Americana de Standards.

AISC : Instituto Americano de construcción de Acero.

NEMA : Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.

ESPECIFICACIONES SOBRE LOS MATERIALES.- Todos los materiales empleados en la fabricación de las torres de transmisión, deberán estar de acuerdo a los últimos requerimientos de los siguientes standards:

ACERO ESTRUCTURAL.-

Acero de Alta Resistencia.- ASTM Designación A 242-55. Acero estructural de alta resistencia y baja aleación.

Acero de Resistencia Standard.- ASTM Designación A 7-56T. Acero para puente y edificios.

Pernos y Tuercas.- ASTM Designación A 394-55T (Pernos de acero galvanizado para torres de Transmisión).

Galvanizado.- ASTM Designación A 123-53 y ASTM Designación A 153-53.

DISEÑO.- El constratista diseñará las torres, detallará sus miembros, partes y conexiones de acuerdo a las cargas, esfuerzos unitarios y limitaciones especificadas aquí y en los dibujos; asumiendo total responsabilidad por su diseño y por el trabajo satisfactorio de las torres bajo las condiciones de carga especificadas.

El diseño de las torres, miembros y partes indicados en los dibujos no tienden a ser restrictivos, sino más bien indicar el tipo general de diseño,

instalación y construcción y sirven para demostrar las dimensiones indispensables requeridas.

CARGAS DE DISEÑO.- La Línea de Transmisión Nayón-Cumbayá ha sido diseñada para 6 conductores de aluminio ACSR y un conductor de tierra de acero, tomando en consideración las condiciones iguales a un distrito de carga ligera.

Carga de hielo	0
Presión del viento	43,9 Kgs/m^2
Temperatura mínima	0°C
" máxima	48°48'C

CONDUCTORES

	A C S R	CABLE DE TIERRA
TAMAÑO	477 MCM 26/7 hilos	3/8" A.R. 7 hilos
PESO	0.975 kg/m	0.406 kg/m
DIAMETRO	2,18 cmts.	0,95 cmts.
MAXIMA TENSION DISEÑO	2.727 Kgs.	1.515 Kgs.

Sobre los conductores se producen los siguientes esfuerzos, como se desmuestran en los dibujos:

L = Esfuerzos longitudinales;

V = Cargas verticales;

T = Cargas transversales;

Las fuerzas transversales actúan como se indica o en dirección opuesta. Cada grupo de cargas (V-L-T) representa la producida por un conductor adyacente o cable de tierra. Dos grupos de carga actúan en cada punto de soporte. La presunción de un cable de tierra o conductor roto, quitará el grupo de cargas para el vano que se presume roto.

Todos los miembros de la torre deberán soportar sin fallar 1-1/2 veces las cargas de diseño de acuerdo a los siguientes requerimientos:

1.- Las torres deberán ser diseñadas para la carga muerta de la torre, más la aplicación simultánea de las cargas causadas por cualquiera de las siguientes condiciones o combinaciones de éstas, que producirían el mayor esfuerzo de los miembros. (en cualquiera de éstos).

a) Todas las cargas actuando simultáneamente.

b) Dos conductores o un conductor y un cable de tierra, rotos en la misma cara de la torre.

c) Carga transversal del viento de 73,24 Kg/m^2 actuando sobre 1-1/2 veces el área neta proyectada de una cara de la torre.

2.- Las crucetas deberán ser diseñadas para una carga vertical especial, que actúa independiente de las otras cargas e igual a 250 lbs.

ESFUERZOS UNITARIOS EN LAS TORRES.- Todos los miembros de cada torre deberán ser diseñados de tal modo que el esfuerzo unitario producido por la combinación de los esfuerzos mencionados en el párrafo correspondiente, no excedan los siguientes valores en Kg/cm^2.

	Acero de Alta Resistencia	Acero de Resistencia Standard
1) Tracción Axial en la Sección Neta	2.320	1.546
2) Compresión Axial en la Sección Total	2.320-10 l/r	1.546-6,8 l/r

Para los elementos sujetos a compresión, los valores de l/r no deberán ser superiores a los siguientes:

Para los montantes	150
Para otros elementos sujetos a esfuerzos determinados	200
Para elementos secundarios no sujetos a esfuerzos determinados	250

En los que: L = Longitud libre en centímetros

R = Radio de giro mínimo en centímetros

Pernos.-

Corte en sección total 1.054

Aplastamiento en su diámetro total 2.100

El mínimo espesor del material usado en las torres será:

Miembros principales de las patas y crucetas sujetas a compresión ..... 1/4"

Elementos en la superestructura sujetas a esfuerzos determinados ..... 3/16"

Otros miembros secundarios ..... 1/8"

Diámetros mínimos de los pernos ..... 5/8"

El material que vaya enterrado en el suelo no deberá tener un espesor menor de 1/4"

ESPECIFICACIONES GENERALES.- Las estructuras deberán ser de acero galvanizado y deberán suministrarse completas, esto es: ángulos de anclaje, extensiones de las patas, soportes para cables, líneas de tierra y aisladores, pernos de anclaje, peldaños y en general todos los elementos indispensables de una estructura, como lo indican los dibujos correspondientes.

El fabricante, al diseñar las torres, deberá mantener las distancias mínimas indicadas en los dib

bujos correspondientes y que forman parte de estas especificaciones.

SOPORTES PARA LOS SECCIONADORES TRIPOLARES.- Las torres del tipo "E" llevarán dos juegos de seccionadores tripolares, cuyos detalles serán dados a conocer oportunamente. Estos seccionadores no deberán ser suministrados por el fabricante de las torres.

PERNOS, TUERCAS, ETC.- Los pernos deberán ser roscados antes de ser galvanizados, de cabeza cuadrada. Las tuercas serán de cabeza exagonal. Todos los pernos, tuercas y rodelas se proveerán con un 10% de exceso del número requerido.

Todas las piezas individuales deberán ser marcadas de acuerdo a la designación dada en los planos de taller.

La longitud total de un lado de cada torre, irá provista de peldaños, comenzando desde una altura de 2,5 mts. a partir de la base de la torre.

Todos los componentes de cada torre deberán ser galvanizados luego de su fabricación, excepto aque-

llos que requieran de suelda eléctrica, pueden galvanizarse antes de ser soldados. Las partes dañadas por la suelda deberán ser regalvanizadas.

Una torre de cada tipo será armada en el taller para de este modo asegurar que la erección en el campo, no presentará dificultades.

Las torres se diseñarán con ángulos de anclaje y cimentaciones de concreto. Los ángulos de anclaje serán suministrados con las torres.

Los siguientes cuadros y dibujos, forman parte de las especificaciones para las estructuras de la Línea de Transmisión.

Cuadro No. 8.- Materiales y Accesorios para la Línea de Transmisión.

Dibujo No. 4.- Torres de Transmisión.

Dibujo No.5 .- Esfuerzos sobre las estructuras de soporte.

SECCIONADORES TRIPOLARES

Bajo este concepto se suministrará lo siguiente:

4 Seccionadores tripolares, operadores en grupo, para 46 KV; completos con mecanismo de operación.

Descripción.- Estos seccionadores serán diseñados para un voltaje de trabajo de 46 KV y corriente nominal de 600 amperios. Al operar deberán romper la corriente de carga de la línea y transformadores, que es aproximadamente igual a 0,8 amperios.

Cada unidad tripolar consistirá de 3 polos separados, cada uno de los cuales incluirá lo siguiente:

a) Tres aisladores, de los cuales los dos exteriores serán fijos y el central tendrá movimiento rotativo y llevará los contactos móviles.

b) Una base de hierro ángulo donde irán fijados los aisladores y que a su vez pueda ser montada en las estructuras de soporte de tipo "E".

Los contactos para las cuchillas serán de alineamiento propio ajustable, tipo de alta presión.

El mecanismo de operación para cada Seccionador Tripolar será de movimiento rápido y efectivo.

La Palanca de Operación deberá estar adecuadamente aislada de los circuitos de tensión; su altura de montaje será aproximadamente de 1 metro sobre el nivel del terreno.

Se suministrará para cada palanca un terminal de tierra y una trenza de cobre de suficiente longitud para que pueda ser conectada a la torre.

El mecanismo de operación de cada Seccionador Tripolar será arreglado en forma tal, que pueda ser asegurado por medio de un candado en cualquiera de las posiciones de "abierto" o "cerrado".

En el diseño de este equipo se tomará en cuenta que la altura de la línea de transmisión es de 2.200 mts. sobre el nivel del mar.

Todos los materiales, fabricación y pruebas deberán estar de acuerdo al último Standard aplicable de la siguiente lista, o a su equivalente en el país de fabricación:

NEMA : Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos

AIEE : Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos

ASA : Sociedad Americana de Standards.