

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



EJECUCION DE PROYECTOS DE  
CONSTRUCCION DE LINEAS DE  
TRANSMISION DE 220 KV.

# TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRICISTA

JOSE LUIS REVILLA ALCANTARA

Promoción 1980 - 1

LIMA - PERU - 1994

## SUMARIO

La presente Tesis está orientada a los trabajos de obra realizados en las Construcciones de Líneas de Transmisión de 220 Kv., basándose en la experiencia recogida del campo, a través de varias obras ejecutadas.

Se ha seguido en el desarrollo de esta Tesis una secuencia lógica por actividades de trabajo debidamente detalladas, indicando sus métodos, procedimientos de ejecución, dando recomendaciones para seleccionar criterios de seguridad en las ejecuciones de estos trabajos, sugiriendo, además, medidas preventivas basadas en la experiencia y evidencia observada.

El logro de esta Tesis es dar realce a los trabajos de ingeniería de montaje en Líneas de Transmisión, para de esta manera aportar información a los alumnos y a los profesionales que dirigen y controlan estos tipos de obras.

**EJECUCION DE PROYECTOS DE  
CONSTRUCCION DE LINEAS DE  
TRANSMISION DE 220 KV.**

## EXTRACTO

TESIS EJECUCION DE PROYECTOS DE CONSTRUCCION  
DE LINEAS DE TRANSMISION DE 220 KV.  
GRADUANDO JOSE LUIS REVILLA ALCANTARA.  
PARA OPTAR EL TITULO DE: INGENJERO ELECTRICISTA.  
FACULTAD INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA.  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.  
LIMA - PERU  
1 9 9 4

-----

Para la elaboración de esta presente Tesis me he basado en el desarrollo por actividades que se efectúan en las Líneas de Transmisión de 220 Kv., las que están dentro de un contexto conformado por seis capítulos:

El Capítulo I, comprende las actividades iniciales que se realizan al comenzar las construcciones de líneas de Transmisión considerando, además, el control de obra que requieren las actividades de la línea en construcción.

El Capítulo II, contiene la ejecución de fundaciones

en líneas de Transmisión, indicando las técnicas de ubicación de excavación de fundaciones, la nivelación de base de torre, el relleno y compactado de las fundaciones.

El Capítulo III, está orientado a las mediciones de campo que se realizan para la instalación de los sistemas de puesta a tierra en Líneas de Transmisión, haciéndose mención de una tecnología actualizada en las mediciones de resistividad de los suelos y de la resistencia de los sistemas de puesta a tierra instalados.

El Capítulo IV, nos informa sobre el montaje de torres, indicando las consideraciones previas antes del montaje, el método de montaje de estas, sus recomendaciones y revisiones de montaje, para su mejor seguridad de instalación.

El Capítulo V, comprende las consideraciones de preparación de los programas de tendido de conductores y la regulación de éstos, incluyendo una serie de recomendaciones para la ejecución de esta actividad.

El Capítulo VI, menciona las pruebas eléctricas que se realizan en las líneas de Transmisión de 220 Kv., indicando sus procedimientos y los porcentajes de comparación entre las mediciones de campo con valores teóricos para cada prueba.

## I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1: ACTIVIDADES INICIALES Y CONTROL DE EJECUCION DE OBRA EN LINEAS DE TRANSMISION DE 220 KV.	3
1.- Actividades iniciales en líneas de transmisión de 220 Kv.	3
1.1 Condiciones generales	3
1.2 Movilización de personal y equipo.	4
1.2.1 Movilización de personal.	4
1.2.2 Movilización de equipos.	6
1.3 Construcción de campamentos y almacenes.	7
1.4 Recepción, clasificación y control de suministros de materiales del proyecto de construcción.	9
1.5 Replanteo topográfico de la línea de transmisión.	11
1.5.1 Ubicación de estructuras.	12
1.5.1.1 Criterios de ubicación de torres de alta tensión.	13
1.5.1.2 Tolerancia de ubicación de torres.	16
1.5.1.3 Distancias mínimas de seguridad de los conductores.	17
1.5.2 Ejecución de secciones diagonales topográficas.	19
1.5.3 Recomendaciones que deben tenerse en cuenta durante el replanteo topografico	20
1.6 Servidumbre.	23
1.6.1 Condiciones generales.	23
1.6.2 Acuerdos de servidumbre.	24
1.6.3 Limpieza de la franja de servidumbre.	25
1.7 Construcción de caminos de acceso en líneas de transmisión.	26
1.7.1 Condiciones generales.	26
1.7.2 Criterios generales para la construcción de caminos de acceso.	27

	PAG.
1.7.3 Tipos de caminos de acceso en líneas de transmisión.	
2.- Control de ejecución de obra en líneas de transmisión de 220 Kv.	30
2.1 Generalidades.	30
2.2 Secuencia de actividades generales en los proyectos de construcción de líneas de transmisión de 220 Kv.	31
2.3 Cronograma de ejecución de obra.	34
2.4 La programación "PERT".	36
2.5 Seguimiento del sistema de control real de ejecución de obra en líneas de transmisión de 220 Kv.	38
CAPITULO 11: EJECUCION DE FUNDACIONES EN LINEAS DE TRANSMISION.	41
1.- Condiciones generales.	41
2.- Tipos de suelos.	42
3.- Tipos de fundaciones.	45
3.1 Fundaciones de concreto.	45
3.1.1 Concreto para las fundaciones.	47
3.1.2 Proporción y mezclas de concreto.	47
3.1.3 Colocación y compactación del concreto.	49
3.2 Fundaciones metálicas.	51
3.3 Fundaciones en roca sólida.	52
4.- Excavación de las fundaciones.	53
4.1 Clasificación del material de excavación.	53
4.2 Dimensiones de excavaciones de las fundaciones.	55
4.3 Ubicación del centro de las excavaciones de fundaciones.	55
4.4 Profundidad de las excavaciones de fundaciones.	57
4.5 Tolerancia en las excavaciones.	
4.6 Recomendaciones generales para las excavaciones.	57
5.- Nivelación de base de torre.	58
5.1 Ejecución de la nivelación de base de torre.	59
5.2 Tolerancia de nivelado de base de torres.	61
6.- Relleno compactado	62
6.1 Condiciones que deben cumplir los materiales de relleno.	62
6.2 Elección del material de relleno.	63
6.3 Colocación y compactación del material de relleno.	64

<b>CAPITULO III: EJECUCION DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA</b>	<b>66</b>
1.- Resumen	
2.- Objetivo de la puesta a tierra en líneas de transmisión.	67
3.- Determinación de la resistividad de los suelos.	68
3.1 Método para las mediciones de resistividad de los suelos.	68
3.1.1 Determinación de la medida de resistividad de los suelos.	72
3.2 Consideraciones reales de campo para la medición de la resistividad de los suelos.	74
4.- Selección de los sistemas de puesta a tierra.	79
5.- Medición de la resistencia de puesta a tierra de los sistemas instalados.	81
5.1 Método para las mediciones de resistencia de puesta a tierra de los sistemas instalados.	82
5.1.1 Curva de medición de la resistencia de puesta a tierra de un sistema determinado.	84
5.2 Consideraciones reales de campo para la medición de resistencia de puesta a tierra de los sistemas instalados.	85
6.- Recomendaciones para la ejecución de las mediciones de resistividad de los suelos y de la resistencia de puesta a tierra de sistemas instalados.	90
 <b>CAPITULO IV: MONTAJE DE TORRES EN LINEAS DE TRANSMISION DE ALTA TENSION.</b>	 <b>91</b>
1.- Condiciones generales.	91
2.- Torres de alta tensión en líneas de transmisión.	92
2.1 Tipos de torres de alta tensión.	92
2.2 Partes de una torre de alta tensión.	96
2.3 Características de montaje de torres de alta tensión.	100
3.- Criterios para la elaboración del programa de montaje de torres de alta tensión.	101
4.- Consideraciones previas para el montaje de torres de alta tensión.	101
5.- Montaje de torres de alta tensión.	103
5.1 Método de montaje de torres de alta tensión.	103
5.2 Equipos y herramientas utilizadas en el montaje de torres.	104
5.3 Procedimiento de montaje de torres de alta tensión.	105
5.3.1 Armado del cuerpo básico.	106

	PAG.
A.- Armado de tramo inferior.	107
B. Armado de tramo intermedio.	111
C.- Armado de tramo superior.	113
5.3.2 Armado de cabeza prismática.	114
A.- Armado de tramo inferior.	114
B. - Armado de tramo superior.	115
5.3.3 Instalación de ménsulas.	116
A.- Instalación de ménsulas superiores.	116
B.- Instalación de ménsulas medias y ménsulas inferiores.	117
6.- Tolerancia de montaje de torres de alta tensión.	118
7.- Recomendaciones para el montaje de torres de alta tensión	119
8.- Revisión de torres.	122
9.- Instalación de cadenas de aisladores.	123
9.1 Inspección.	124
9.2 Manipulación y limpieza de aisladores.	125
9.3 Instalación de cadenas de aisladores.	125
<b>CAPITULO V: TENDIDO Y REGULACION DE LOS CONDUCTORES</b>	<b>128</b>
1.- Resumen.	128
2.- Fases principales del tendido de conductores.	129
2.1 Preparación del programa de tendido de conduc tores.	129
2.2 Tendido de los conductores.	131
2.2.1 Método utilizado.	132
2.2.2 Características del tendido de conduc tores.	132
2.2.3 Tendido de conductores.	135
2.2.4 Recomendaciones generales para el ten dido de conductores.	139
2.3 Regulación de conductores.	142
2.3.1 Regulación de las flechas de los conduc tores, considerando el "EFECTO CREEP".	143
2.3.2 Métodos utilizados para la regulación de las flechas de los conductores.	146
2.3.3 Recomendaciones generales para la regu lación de las flechas de los conducto res.	151
2.3.4 Regulación de las cadenas de aisladores de suspensión.	153
3.- Inspección final de las líneas de transmisión aca badas.	156

	PAG.
CAPITULO VI: PRUEBAS ELECTRICAS EN LINEAS DE TRANSMISION.	160
1.- Generalidades.	160
2.- Prueba para la determinación de la secuencia de fases.	161
2.1 Procedimiento para la prueba.	162
3.- Prueba de aislamiento.	163
3.1 Generalidades.	163
3.2 Procedimiento para la prueba.	166
3.3 Mediciones realizadas en las pruebas.	168
3.4 Parámetros obtenidos de las mediciones de resistencia de aislamiento.	172
4.- Pruebas de medición de la resistencia eléctrica en corriente continua de los conductores de fases	176
4.1 Procedimiento para la prueba.	176
4.2 Mediciones realizadas en la prueba.	178
4.3 Datos de la línea de transmisión en prueba.	178
4.4 Valor teórico de la resistencia eléctrica por fase en corriente continua.	180
5.- Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva.	182
5.1 Procedimiento para la prueba.	184
5.2 Mediciones realizadas en la prueba.	185
5.3 Valor teórico de la impedancia de secuencia positiva por fase de la línea de transmisión.	187
6.- Prueba de medición de la impedancia homopolar.	193
6.1 Procedimiento para la prueba.	195
6.2 Mediciones realizadas en la prueba.	198
6.3 Valor teórico de la impedancia homopolar por fase de la línea de transmisión.	199
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	206
ANEXOS	210
BIBLIOGRAFIA	248

## INTRODUCCION

La presente Tesis presenta información técnica recogida de obra, para ejecutar los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión de 220 Kv., estas ejecuciones han sido observadas en sus actividades y escritas, dándole un carácter técnico para su mejor explicación, indicándose métodos eficaces con tecnologías actualizadas, siendo, de esta manera, una Tesis orientada a la aplicación directa al trabajo de campo a que están destinados a planificar y dirigir los ingenieros de obra, contribuyendo, de esta manera, con los profesionales que se dedican en las áreas de Construcción de Líneas de Transmisión de 220 Kv., para que éstos puedan ejecutarlas en forma segura y eficiente, manteniendo, de esta manera, esta Tesis un alto nivel de ingeniería práctica en estos tipos de construcciones.

En las actividades que comprenden estas construcciones, se dan una serie de criterios y recomendaciones de construcción; que se han aprendido en obra, para eliminar, de esta manera, errores de construcción que significan pér-

didas de tiempo y evitar pérdidas económicas para la compañía contratista y para la empresa propietaria de la línea.

Las actividades que se presentan en esta Tesis están distribuidas en seis capítulos, indicando, en éstos, procedimientos y métodos óptimos a seguir en sus desarrollos constructivos.

Finalmente, se alcanzan las conclusiones y recomendaciones, pretendiéndose transmitir un mejor entendimiento para una ejecución óptima de Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión de 220 Kv.

CAPITULO I  
ACTIVIDADES INICIALES Y CONTROL DE EJECUCION DE OBRA EN  
LINEAS DE TRANSMISION DE 220 Kv.

1.- Actividades iniciales en líneas de Transmisión de 220 Kv.

1.1 Condiciones generales

Con el objetivo de definir mejor la extensión y características de la "Ejecución de Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión de 220 Kv.", presento en este primer capítulo, "Las Actividades Iniciales", que deben realizar al comenzar estos tipos de construcciones. Estas actividades, al igual que todas las Actividades Generales de Construcción de Líneas, requieren de una cuidadosa planificación, de una dirección y control de obra por ingenieros experimentados y especializados en estos tipos de construcciones, también requiere de una logística de clasificación de materiales en el almacén

de importación, de tal manera que cuando se ejecute las Actividades Generales de Construcción de la Línea, los materiales que la componen, se distribuyan fácilmente a cada actividad durante todo el período que dura el proyecto de construcción, que más adelante en los capítulos siguientes se desarrollan en esta Tesis.

Para realizar la programación de trabajo de las "Actividades Iniciales", se tiene que estudiar la documentación técnica y conocer todas las zonas de trabajo de la Ruta de la Línea de Transmisión, también es recomendable tener reuniones con los ingenieros de la compañía proyectista, ingenieros de supervisión e ingenieros de la compañía propietaria, que tienen conocimiento del proyecto y de la zona de trabajo, de tal manera que antes de iniciar los trabajos, se tenga una idea clara de cómo ejecutarlos.

## **1.2 Movilización de personal y equipo**

### **1.2.1 Movilización de personal**

Antes de empezar con las "Actividades Iniciales" de los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión, debe contarse con un "Organigrama de

Personal Especializado", para asegurar la continuidad y el desarrollo óptimo de las actividades a ejecutarse. Este personal debe mobilizarse previamente a la zona del proyecto para distribuirlos en los "Frentes de Trabajo" de la construcción de la línea en las zonas previamente definidas.

El personal necesario, al inicio de la obra, estará conformado por ingenieros, supervisores, topógrafos, capataces de cuadrillas de las primeras actividades, almaceneros, personal administrativo. Más adelante, al iniciarse las Actividades Generales de Construcción de la Línea, se contratan mas personal, tales como capataces de cuadrillas de las Actividades Generales, operarios, oficiales y peones, este incremento de personal será de acuerdo a las necesidades de avance de la obra, según el "Cronograma de Ejecución de Obra".

Una muestra de "Organigrama de Personal en los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión", se pue-

de ver en el esquema del figura N°1.1, en el anexo N°1.

### **1.2.2 Movilización de equipos**

La movilización de equipos, herramientas y vehículos se realiza con anticipación, de acuerdo a la disponibilidad requerida, indicando en el "Cronograma de Adquisición de Equipos y Vehículos de Transporte" y que está elaborado en base al "Cronograma de Ejecución de Obra".

Esta actividad tiene que ser muy bien controlada, a través de todos los períodos que duran las diferentes actividades de la construcción de la línea y deben ser bien distribuidos bajo previo control logístico en los diferentes frentes de trabajo de la línea, comprobándose previamente que todos éstos, se encuentran operativos, siendo, además, controlados con sus mantenimientos preventivos.

La disponibilidad inmediata y bien operativa de los equipos, vehículos de transporte de personal y materiales, es

de especial cuidado, en estos tipos de obras, donde los caminos de acceso son trochas carrozables con pendiente teniendo además los vehículos una labor sumamente exigida en tiempo de operación, para poder tener un avance de obra óptimo. Por esta razón, tiene que darse un buen apoyo al mantenimiento preventivo.

### 1.3 Construcción de campamentos y almacenes

Todo "Proyecto de Construcción de Líneas de Transmisión", debido a la gran magnitud y alta embergadura de la obra, requiere de la construcción de campamentos y almacenes, para tener oficinas donde se realicen las reuniones de información, coordinación del avance de obra y todo tipo de comunicación de trabajo que se realiza entre la empresa contratista, empresa supervisora y empresa propietaria de la línea, durante todo el tiempo que dura la obra.

La construcción del campamento general, almacén general y otros, son obras provisionales que se inician cuando le dan la "Orden de Proceder" a la compañía contratista y requieren de oficinas, vivienda (campamento general) y

servicios en general para que el contratista viva y realice todas las coordinaciones de trabajo con su personal.

El contratista necesita del campamento para coordinar con su personal de obra, la dirección técnica, la programación de trabajo, controlar el avance de obra, cambios en obra por condiciones técnicas de montaje y ,en general, todo tipo de comunicación sobre la obra durante todo el tiempo que dura la construcción de la línea.

El Almacén General se construye junto al Campamento General, para que los ingenieros residentes tengan fácil acceso a éste y así dirigir la logística de distribución, de los materiales de las diferentes actividades de la línea y también verificar las buenas condiciones de los materiales de la obra. También, permitirá al ingeniero supervisor y fiscalizador chequear el estado correcto de los diferentes tipos de materiales que se usan en el proyecto de construcción.

A parte de los materiales de la Línea de Transmisión, también, se ubican en el Almacén General los vehículos de transporte y los diferentes equipos con su taller de mantenimiento.

#### 1.4 Recepción, clasificación y control de suministro de materiales del proyecto de construcción

Todos los materiales de importación son suministrados por la Cia. Contratista Principal y, según las condiciones del contrato, puede ser que todos estos materiales se encuentren antes de empezar la obra o que sean suministrados durante el periodo de ejecución del Proyecto de Construcción de Líneas de Transmisión bajo un "Cronograma de Recepción de Materiales".

En estos tipos de obras, donde la adquisición de materiales es de gran cantidad de toneladas (según la longitud de la línea), se requiere de un minucioso Control Logístico de Recepción, Clasificación de materiales de Importación en el Almacén General, para realizar después una rápida y segura distribución de los materiales a cada una de las actividades que requieren estos materiales, en forma coordinada con su avance en el campo, evitándose, de esta manera, errores que significan atrasos en el avance de obra.

Esta actividad es dirigida por ingenieros que trabajan en el departamento de logística de materiales que llevan el control y el avance de obra, bajo la dirección del Ing. Jefe de la Obra.

Los materiales son controlados con las informaciones siguientes:

- 1.- Teniendo el "Metrado Total Requerido" de todos los materiales de cada actividad de la construcción de la línea, tales como:
  - Cantidad de perfiles y pernos de torres.
  - Cantidad de aisladores y morceteria en general.
  - Cantidad conductor y cable de guarda de toda la línea.
  - Cantidad de materiales para los contrapesos del Sistema de Puesta a Tierra, etc.
- 2.- Llevando el control del metrado total de materiales recibidos de cada una de las actividades de la obra, con el archivo y control de la recepción de los materiales.
- 3.- Informar con anticipación, el material faltante por medio del cuaderno de obra, a la supervisión y compañía propietaria, para su rápida reposición del material, de tal manera, de evitar retrasos en la obra, por falta de material.
- 4.- Llevar el control del "Cronograma de Recepción de Materiales" de cada una de las acti-

vidades de la obra.

5.- Tener el "Programa Mensual de Avance de Obra Proyectado".

6.- Llevar el control del suministro de materiales a cada una de las torres, por medio de un listado total de todas las estructuras.

#### 1.5 Replanteo topográfico de la línea de transmisión

El Replanteo Topográfico, se realiza a lo largo de toda la Línea de Transmisión, ejecutándose la verificación topográfica del perfil longitudinal de la línea, las dimensiones de los Vanos Reales de las torres y la correcta ubicación de éstas.

La ubicación de las torres en el campo, se ejecuta de acuerdo con los planos del proyecto y la lista de estructuras (Tabla de Locación).

También, en ésta etapa se trazan las "Secciones Diagonales Topográficas" en cada ubicación de torre, para determinar la selección de tipos de patas de cada torre, según la topografía del terreno en el que se encuentran ubicadas.

La ejecución del Replanteo Topográfico, comienza tan pronto como sea posible la correspondiente "Orden General de Proceder".

Durante el replanteo pueden encontrarse errores de topografía o de ubicación de torres, lo cual requiere de una relocalización de torres, para ésto, se efectúan los desplazamientos necesarios, de manera que queden situados en terrenos estables y con perfiles diagonales adecuados para la selección de patas de torres. Para ésto, se plantea con anticipación a la supervisión de la línea, la necesidad de ejecución de variante topográfica o de desplazamiento de torres, por dificultades de ubicación de las estructuras en el trazo original del proyecto.

#### **1.5.1 Ubicación de estructuras**

La ubicación de las estructuras se lleva a cabo marcando en el suelo, la posición de cada estructura con un punto fácilmente visible "ESTACA CENTRAL" (que marca el centro de la torre indicando su número), de acuerdo a los planos del proyecto del perfil de la línea y según la Lista de Estructuras.

Las Torres de Suspensión están ubicadas en el eje de la línea y orientadas por hitos, en dos posiciones situadas en el eje de la línea distantes 9 metros del centro de la estaca central.

Las Torres de Angulo están ubicadas en los vértices de la línea y orientadas por hitos, en cuatro posiciones distintas, de 9 metros del centro de la torre y situadas en ejes ortogonales que forman un ángulo de 45 grados, con la bisectriz del ángulo de desvío de la línea.

#### **1.5.1.1 Criterios de Ubicación de Torres de Alta Tensión**

De acuerdo a las condiciones topográficas reales de campo, es importante dar los criterios de ubicación de torres, para neutralizar los efectos negativos, que pudieran inferir en la ubicación de éstas, de tal manera, de desplazar longitudinalmente o lateralmente la ubicación de

torres, durante la etapa del "Replanteo Topográfico" que realiza el contratista. Los criterios de ubicación de torres en la línea, son los siguientes:

- 1.- En los suelos deslizantes taludes inestables, terrenos con erosión superficial que están ubicados en la ladera de los cerros, es preferible cruzar dichos tramos con un Vano Real grande, apoyando las torres fuera del área de influencia o ubicándolas en roca estable que aflora en el área.
  
- 2.- En las áreas pantanosas, en lo posible, debe ubicarse en el mismo alineamiento cimentar las fundaciones directamente sobre roca que aflora en el área de influencia o cruzar con un Vano Real

grande fuera del área de influencia.

- 3.- En áreas donde existe cruce de una pequeña torrentera, se debe realizar una zanja de drenaje desde unos 20 mts. aguas arriba, a fin de desviar las aguas provenientes de las lluvias.
- 4.- En las aguas de terrenos con huaycos, ubicados en el cruce de las quebradas, es preferible cruzarlos con un Vano Real grande.
- 5.- En los cruces de quebradas, debido a la poca estabilidad de los materiales ubicados en los suelos de sus laderas, es necesario ubicar las torres cruzando con un Vano Real grande y apoyar estas estructuras directamente en roca estable.

6.- Las torres de ángulo, que están en los vértices de la línea, se deben ubicar en la cima de las elongaciones de los afloramientos rocosos, con el fin de evitar que sean afectados por fenómenos de erosión, huaycos, deslizamientos, etc., que comprometen la seguridad de la estructura

7.- El cruce de los ríos deberá realizarse con un solo Vano Real grande, apoyando la estructura de las torres en terrenos estables, escogiendo puntos fuera del área de influencia o terrenos de roca estable.

#### **1.5.1.2 Tolerancia de ubicación de Torres**

En la verificación de la ubicación de torres, es admitida una tolerancia de + 5 centímetros, para el despla-

zamiento longitudinal de la estaca central en relación las estacas centrales de las torres adyacentes hacia atrás y hacia adelante.

La tolerancia para el desplazamiento lateral de la estaca central es de + 25 milímetros.

Estas tolerancias mencionadas son, según proyectos de Líneas de Transmisión de 220 Kv.

### **1.5.1.3 Distancias mínimas de seguridad de los conductores**

Con el objetivo de protección contra accidentes ocasionados por la distribución aérea de las Líneas de Transmisión de 220 Kv., a continuación se indican distancias normalizadas y especificadas en los proyectos de Líneas de Transmisión 220 Kv. y que deben ser respetadas por los

proyectistas ya que estas distancias hacen difícil alcanzar los conductores de la línea, evitando que las personas, animales y vehículos choquen con los conductores desnudos.

Las distancias mínimas de seguridad de los conductores son las siguientes:

- 1.-Altura mínima so-: 7 mts  
bre el suelo en  
espacios no tran-  
sitados por vehi-  
culos.
- 2.-Altura mínima so-: 9.5 mts  
bre calles y ave-  
nidas.
- 3.-Altura mínima so-:10.0 mts  
bre carreteras.
- 4.-Altura mínima so-:11.5 mts  
bre ferrocarriles.

5.-Altura mínima so-:11.5 mts  
bre rios o cana -  
les no navegables

6.-Distancias míni-: 4.5 mts  
mas de conducto-  
res de otras lí-  
neas eléctricas  
(cruces).

7.-Distancias míni-: 4.5 mts  
mas de líneas de  
Telecomunicacio-  
nes.

8.-Distancias míni-: 6.0 mts  
mas de edificios

#### 1.5.2 **Ejecución de secciones diagonales topo- gráficas**

El objetivo de determinar el levantamiento topográfico de las "Secciones Diagonales", en cada ubicación de las torres de la Línea de Transmisión, es para hacer posible la elección de los tipos de patas de la torre, con la ayuda de la plantilla de estribos de la estructura.

Las Secciones Diagonales se determinan con la ayuda del teodolito, tomándose como punto de referencia la estaca central (centro de ubicación de la torre) que se encuentra en el eje de la línea. Luego se toman datos de las diferentes elevaciones topográficas para cada pata de torre en las direcciones de dos ejes ortogonales que se cortan en la estaca central y que pasan por la ubicación de las 4 patas de la torre.

Para las Torres de Suspensión, las dos rectas ortogonales forman un ángulo de 45 grados con el eje de la línea.

Para las Torres de Angulo ubicadas en los cambios de direcciones de la línea, las dos rectas ortogonales están orientadas con la bisectriz del ángulo de desvío de la línea, formando estas rectas con la bisectriz, un ángulo de 45 grados.

### **1.5.3 Recomendaciones que deben tenerse en cuenta durante el replanteo topográfico**

Es necesario, en esta etapa, ano-

tar los problemas que por ubicación de torre se van a tener más adelante en las actividades de construcción de la línea y que son necesarias para dar una solución antes de empezar con la construcción de la línea. Para esto, tenemos las siguientes recomendaciones que deben tenerse en cuenta durante el Replanteo Topográfico:

- 1.- El topógrafo debe anotar y analizar si la estructura está en posición correcta o puede desplazarse realizándose la variante topográfica del perfil topográfico de la línea.
- 2.- Chequeo de los ángulos de desvío de la línea, a lo largo de toda su longitud, verificando sus medidas y, si el desvío es a la derecha o izquierda, para que cualquier modificación, se actualice de inmediato en la "Lista de Estructuras".
- 3.- Se deben resolver los problemas de servidumbre en las ciudades y terrenos de cultivo, antes de empezar con los trabajos de excavaciones.

- 4.- Se debe anotar todos los cruces de líneas eléctricas, líneas telefónicas, indicando la altura del conductor en el punto de cruce con la línea en construcción, para determinar si se eleva o no, la altura de la torre o también, si ésta pueda desplazarse para respetar la separación normalizada de los conductores.
  
- 5.- Se debe anotar los cruces de carreteras, cruces de ríos, cruce de avenidas, casas, terrenos de cultivo, para analizar si el conductor tiene la separación que exigen las normas.
  
- 6.- Analizar en gabinete los planos del perfil topográfico de la línea, los problemas de acercamiento menores de 7 metros del conductor al terreno, en los lugares de zonas rocosas, para ver la posibilidad de ejecutar desquinches (corte de terreno) en el terreno o ver la posibilidad de aumentar la altura de torre.

## 1.6 Servidumbre

### 1.6.1 Condiciones Generales

Se denomina "Servidumbre" a los derechos que el propietario de la línea adquiere sobre los aires de la franja de los terrenos que atraviesa la Línea de Transmisión y, también, a las extensiones de terreno que el propietario adquiere alrededor de cada estructura para permitir la instalación de éstas.

La empresa contratista que ejecuta la construcción de la línea, con anticipación debida, a fin de no entorpecer el desarrollo de los trabajos, debe encargarse de verificar y actualizar la relación completa de los propietarios que son afectados por la implantación de las torres y, en general, por los trabajos de construcción de la línea. Esta lista será entregada a la compañía propietaria que será la responsable de ejecutar todas las notificaciones y obtener todas las autorizaciones de servidumbre que sean requeridas por las autoridades que tengan jurisdicción sobre el proyecto.

En la relación elaborada por el contratista, también se menciona los límites de propiedad de los terrenos ubicados a lo largo de la faja de servidumbre, se indica el tipo de cultivo existente, la cantidad de árboles de propiedad particular a ser talados y cualquier otra información que permita a la compañía propietaria obtener en forma rápida y fácil los derechos de paso para las líneas.

#### **1.6.2 Acuerdos de servidumbre**

Para no entorpecer más adelante las actividades de construcción de la línea que después originan atrasos en la obra debido a los problemas de "Servidumbre", es necesario que la Compañía Propietaria de la línea, con anticipación a estas actividades debe solucionar los problemas de servidumbre realizando todo el aspecto legal de derecho de paso y expropiaciones y, además, haciendo los acuerdos respectivos con los propietarios de los terrenos afectados por el cruce de la línea, tales como:

- 1.- Acuerdos con los propietarios para la compensación por destrucción de cabañas, casas, terrenos de cultivos y otras propiedades de valor que puedan ocurrir en la ejecución de los trabajos de:
  - Construcción de caminos de acceso.
  - Ejecución de fundaciones y puesta a tierra.
  - Montaje de torres.
  - Tendido de conductores.
  
- 2.- Acuerdos con los propietarios para la compensación por el corte y retiro de árboles y plantas en la etapa del tendido del conductor, para que el conductor tenga las distancias de seguridad hacia el terreno.

### **1.6.3 Limpieza de la franja de servidumbre**

La limpieza de la "Franja de Servidumbre" debe garantizar que sea respetada la distancia vertical mínima, a partir de los conductores más bajos y la punta de los árboles y vegetación que se encuentran en la región de la "Franja de Servidumbre", siendo el pro-

- 1.- Acuerdos con los propietarios para la compensación por destrucción de cabañas, casas, terrenos de cultivos y otras propiedades de valor que puedan ocurrir en la ejecución de los trabajos de:
  - Construcción de caminos de acceso.
  - Ejecución de fundaciones y puesta a tierra.
  - Montaje de torres.
  - Tendido de conductores.
  
- 2.- Acuerdos con los propietarios para la compensación por el corte y retiro de árboles y plantas en la etapa del tendido del conductor, para que el conductor tenga las distancias de seguridad hacia el terreno.

### **1.6.3**

#### **Limpieza de la franja de servidumbre**

La limpieza de la "Franja de Servidumbre" debe garantizar que sea respetada la distancia vertical mínima, a partir de los conductores más bajos y la punta de los árboles y vegetación que se encuentran en la región de la "Franja de Servidumbre", siendo el pro-

ceso de limpieza respetable con la preservación de la vegetación existente.

Todos los árboles que están a una distancia del eje central de la línea menor de 4 metros, serán talados por el contratista, tomándose los debidos cuidados, en el sentido de evitar que los árboles caigan sobre las propiedades u otros árboles que puedan ser preservados.

## 1.7 Construcción de caminos de acceso en Líneas de Transmisión

### 1.7.1 Condiciones Generales

Las actividades de "Construcción de Líneas de Transmisión de Alta Tensión", requieren de un acceso firme y despejado a lo largo de toda la ruta de la línea, para facilitar el movimiento de equipos pesados y materiales para esto, se precisa la construcción de trochas carrozables y, también, caminos de herradura, representando éstos, un papel importante en los proyectos de construcción de líneas, porque, de

ello, depende el avance del "Cronograma de Ejecución de Obra", de todas las actividades de construcción línea. Es por ésto que los caminos de acceso a cada torre deberán ser concluidos antes del inicio los trabajos de "Ejecución de Fundaciones" de las torres de alta tensión.

#### **1.7.2 Criterios generales para la construcción de caminos de acceso**

Debido a la importancia que presentan los "Caminos de Acceso" en las "Construcciones de Lineas de Transmisión" es necesario conocer los criterios generales recogidos de obra, para su mejor ejecución, de acuerdo a las condiciones reales de construcción que se presentan en el campo:

- 1.- Siempre que sea posible, deben ser aprovechados los accesos ya existentes en la región haciéndole su limpieza o mejoramiento requerido.
- 2.- Los caminos de acceso deben, preferentemente, quedar dentro de la franja de servidumbre de las lí-

neas, en los terrenos planos.

- 3.- Los caminos de acceso deben tener en consideración durante su trazado las rampas, radios de curvatura y anchura, compatible con los vehículos que por ellos deben transitar.
- 4.- Deben evitarse trazados que crucen terrenos sujetos a inundaciones o que afecten la calidad de los manantiales existentes en la región.
- 5.- En los casos donde la topografía del terreno es accidentado y siendo impracticable un camino de acceso carrozable, entonces se construirá los caminos de herradura (para personas o acémilas).
- 6.- El contratista debe colocar placas indicadoras, colocadas en el inicio de las vías de acceso de herradura, conteniendo los números de las estructuras de la zona, con el fin de facilitar la localización de dichas estructuras.

CARACTERISTICAS DE CAMINOS DE ACCESO	TIPOS DE CAMINOS DE ACCESO							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
-Trocha carrozable con 3.0 mts de ancho, de superficie de rodadura.	X	X	X		X	X	X	
-Caminos de herradura con ancho de vía de 0.6 mts a 1.0 mts.				X				X
-Terrenos con topografía plana con inclinación entre 0° y 10°	X				X			
-Terrenos con topografía ondulada con inclinación comprendida entre 10° y 30°.		X				X		
-Terrenos con topografía accidentada con inclinación mayor de 30°.			X	X			X	X
-Terrenos constituidos con materiales sueltos.	X	X	X	X				
-Terrenos ubicados en rocas.					X	X	X	X

TABLA Nº 1.1.- TIPOS DE CAMINOS DE ACCESO DE LA L.T. 220 Kv. MANTARO-LIMA, III ETAPA.

### 1.7.3 Tipos de caminos de acceso en líneas de transmisión

Para cada Proyecto de Construcción de Líneas de Transmisión, existe una determinada clasificación de tipos de caminos, según las condiciones topográficas y según la naturaleza de los terrenos a lo largo de toda la línea. Por ejemplo, para la L.T. 220 Kv. Mantaro-Lima III Etapa, se ha determinado ocho tipos de caminos de acceso, tal como se muestra en la tabla Nº 1.1.

## 2.- Control de ejecución de obra en Líneas de Transmisión de 220 Kv.

### 2.1 Generalidades

Los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión, debido a su gran importancia, su alta magnitud de su construcción y elevado costo, hace necesario e imprescindible realizar una prevista planificación y programación y conocer las técnicas del "Control de Avance de Obra", para ahorrar tiempo de ejecución en sus construcciones, distribuir mejor la mano de obra, la

gran cantidad de materiales y los equipos y vehículos en general que estos proyectos requieren durante su construcción, para cumplir con el objetivo de poder terminar la obra en los plazos contractuales previstos en las Licitaciones de estos Proyectos de Construcción. Por esta razón, en esta Tesis el graduando hace conocer las técnicas necesarias como: El "Cronograma de Ejecución de Obra", la PROGRAMACION PER y el "Seguimiento del Sistema de Control de Ejecución Real de Obra".

## 2.2 Secuencia de actividades generales en los proyectos de construcción de Líneas de Transmisión de 220 Kv.

El control y la dirección de la "Ejecución de los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión" exige un modelo de planificación que consiste en definir las actividades generales que intervienen en el proyecto constructivo y, también, el orden en que éstas se correlacionan al desarrollarse, para ser después controlados con decisión y así lograr los objetivos de término de construcción de manera más eficiente.

Para tener un conocimiento general de las actividades que se realizan en las construcciones

de Líneas de Transmisión de 220 Kv., se mencionan a continuación la siguiente secuencia de estas actividades:

- 1.- Movilización de personal y equipo.
- 2.- Construcción de campamentos y almacenes.
- 3.- Recepción y clasificación de suministro de materiales del proyecto.
- 4.- Replanteo topográfico de la línea de transmisión.
  - 4.1.- Ubicación de estructura.
  - 4.2.- Ejecución de secciones diagonales topográficas.
- 5.- Mediciones de la capacidad portante de los terrenos.
- 6.- Mediciones de Resistividad eléctrica del terreno
- 7.- Servidumbre.
- 8.- Construcción de caminos de acceso.
- 9.- Excavación de fundaciones de torres de alta tensión.

- 10.-Nivelación de base de torres.
- 11.-Instalación de los sistemas de puestas a tierra.
- 12.-Encofrado de fundaciones.
- 13.-Vaceado de concreto de fundaciones.
- 14.-Relleno compactado.
- 15.-Mediciones de resistencia de puesta a tierra de los "Sistemas de Puesta a Tierra", instalados.
- 16.-Montaje de torres.
- 17.-Instalación de cadenas de aisladores de suspensión.
- 18.-Tendido de conductores.
- 19.-Revisión final de la línea de transmisión.
- 20.-Pruebas eléctricas de la línea de transmisión.

### 2.3 Cronograma de Ejecución de Obra

El preparar un sistema de programación de actividades para la "Ejecución de los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión", implica elaborar el "Cronograma de Ejecución de Obra", siendo éste del tipo "GANTT", el cual nos permite presentar la programación de la obra, mediante diagramas de barras horizontales, donde se indican las actividades principales del proyecto, las cuales están representadas mediante barras rectas horizontales, cuya longitud es, a cierta escala, la duración efectiva de las actividades y muestra, además, las fechas iniciales y finales de éstas.

En el figura NO 1.2 en el anexo NO 1, se muestra el "Cronograma Porcentual de Ejecución de Obra", que se presenta en el momento de la "Licitación de Obra", donde se puede observar que los números sobre las barras indican los porcentajes de avance, previstos de cada actividad (partida); también, se observa que el orden de ejecución de las actividades es de acuerdo a las distribuciones de barras, dando una idea clara del proceso de construcción de la línea y de su programación.

### 2.3.1 Criterios de elaboración de cronograma de ejecución de obra

El "Cronograma de Ejecución de Obra" de la Línea de Transmisión se elabora en base a experiencia en obras similares, teniendo los siguientes criterios:

- 1.- Las actividades del proyecto de construcción, se anotan en base a una secuencia lógica de ordenamiento correlativo de éstas, y que han sido previamente definidas.
- 2.- La programación total de las actividades de la línea, se hace en base a un período de ejecución de obra que la compañía propietaria propone, en las condiciones de contrato de la obra.
- 3.- El Cronograma de Ejecución de Obra es realizado teniendo como base el "Metrado Básico Contractual" que es referencial y que el propietario propone en las condiciones de contrato.

- 4.- El Cronograma de Ejecución de Obra está coordinado de acuerdo al avance que se tiene con los recursos de personal, equipos y vehículos, para cada actividad de trabajo.
- 5.- Las coordinaciones de iniciación y finalización de cada actividad se pone de acuerdo a la programación de ordenamiento de actividades en el tiempo, según la necesidad de avance de obra.
- 6.- El Cronograma de Ejecución de Obra debe estar coordinado con el "Programa de Entrega de Materiales" de cada actividad de trabajo de la línea.

#### 2.4 La programación PERT

La programación "PERT", en los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión es empleada como una técnica de planteamiento, programación y control, donde lo mas importante es la determinación y control del tiempo de ejecución de las actividades de construcción de la línea. Tiene como fundamento emplear una lógica secuencial de

las actividades y usa grafos para representar y relacionar estas actividades en forma óptima, de tal manera que, llevando un adecuado uso de los recursos y duración de las actividades, se puede cumplir con el tiempo de ejecución del proyecto.

Una muestra de la Programación "PERT" se muestra en la figura NO 1.3, en el anexo NO 1, donde se muestra que el "PERT" comienza en un único "SUCESO INICIAL", que es representado por un círculo, indicando el tiempo cero; luego, se ramifica en varios caminos que ligan diversos "SUCEOS" que son representados por círculos donde indica el tiempo que duran las "ACTIVIDADES" las cuales son representadas por flechas orientadas que se enlazan entre sí con los sucesos, formando una malla (grafo). Las ACTIVIDADES, simbolizan el trabajo en proceso de ejecución, requiriendo para ello el consumo del tiempo y recursos. También, se puede observar en la malla que las ACTIVIDADES de la línea son de distinta naturaleza, donde algunas dependen de otras y otras actividades son independientes, pero todas éstas, están en sus caminos respectivos, los cuales en el esquema se unen por diferentes trayectorias, pero que al final la malla termina en un único "SUCESO FINAL", que señala el fin del Proyecto de Construcción de la

Línea de Transmisión, proporcionándose una visión general del proyecto.

## 2.5 Seguimiento del sistema de control real de ejecución de obra en Líneas de Transmisión de 220 Kv.

El objetivo principal en la "Construcción de Líneas de Transmisión" es terminar la obra con calidad y seguridad, dentro del plazo contractual fijado por la empresa propietaria en la etapa de la "Licitación de la Obra" y es por esto que, el graduando, particularmente, propone en esta Tesis un "Seguimiento del Sistema de Control Real de Ejecución de Obra en Líneas de Transmisión" en base a experiencia recogida en obra, siendo este seguimiento a través de Cronogramas, Programas Proyectados, Informes Reales de Avance Físico de Obra, etc., tales como llevar los siguientes controles de:

- 1.- Cronograma Porcentual de Ejecución de Obra Contractual Proyectado.
- 2.- Programación "PERT", llevando el seguimiento del orden y control de ejecución de las actividades, de acuerdo al tiempo de inicio, ejecución y finalización de éstas.
- 3.- Cronograma Porcentual de Metrados Básico de

Obra Contractual Proyectado.

- 4.- Programa Mensual Proyectado de Avance Físico.
- 5.- Programa Mensual Proyectado de Utilización de Mano de Obra.
- 6.- Programa Mensual Proyectado de Utilización de Materiales de Importación de la Línea.
- 7.- Programa Mensual Proyectado de Utilización de Materiales Locales.
- 8.- Programa Mensual Proyectado de Utilización de Vehículos, Equipos y Herramientas.
- 9.- Programa Diario de Avance Físico de Actividades.
- 10.-Informe Diario de Avance Físico Real de Obra.
- 11.-Informe Semanal de Avance Físico Real de Obra
- 12.-Información Mensual de Avance Físico Real de Obra.
- 13.-Anotación del Avance Físico de la Obra en la "Lista del Estado de Avance de Obra", donde

se indica la relación de todas las estructuras y las actividades de construcción de la línea.

- 14.-Control de Avance Físico de la Obra, por actividad a nivel de "Metrado Mensual Ejecutado", con la comparación del "Metrado Mensual Contractual Proyectado", expresado en porcentaje.
- 15.-Control del Avance Físico de la Obra, por actividad a nivel de "Metrado Acumulado" con la comparación del "Metrado Total Contractual del Proyecto", expresado en porcentaje.
- 16.-Se establecen los Rendimientos Reales Mensuales y Rendimientos Reales Acumulados, por cada actividad, con el control de Horas-Hombre y metrado ejecutado.
- 17.-Cálculo del "Porcentaje de Avance Real de Obra Acumulada" que se obtiene de la comparación del Costo Total Contractual Acumulado de las Valorizaciones Contractuales Ejecutadas, mes a mes, entre el "Costo total del Presupuesto Base Contractual", expresado en porcentaje.

## CAPITULO II

### EJECUCION DE FUNDACIONES EN LINEAS DE TRANSMISION

#### 1.- Condiciones Generales

Los trabajos referentes a la "Ejecución de Fundaciones", de las torres de Alta Tensión, se pueden iniciar una vez que estén concluidos los "Caminos de Acceso" y se haya terminado los trabajo en el área de la "Franja de Servidumbre" en que serán ejecutadas las fundaciones.

Se supone que, para entonces, todo el aspecto legal de derecho de paso y expropiaciones deben estar superados, con los dueños de los terrenos afectados, pues de esto está a cargo la Compañía Eléctrica Propietaria de la Línea de Transmisión.

Lo mismo, deben estar superados todos los desplazamientos de torres por condiciones topográficos de servidumbre, cruce de Líneas Eléctricas, etc., vistas en la etapa del "Replanteo Topográfico".

También, deben estar terminados los estudios de la naturaleza de los suelos donde van a estar ubicadas las torres.

En esta etapa, se realiza la limpieza del lugar de ubicación de la torre, para tornarlo adecuado a los trabajos de ejecución de las fundaciones de la misma, preservando las condiciones naturales del terreno, tanto como sea posible.

El tipo de fundación prevista a ser ejecutada se indican en la "Lista de Estructuras de la Línea de Transmisión", pero puede ser alterado, en caso de que las características del suelo encontrado en ocasión en las excavaciones difieran de aquéllas determinadas anteriormente por interpretación o sondaje en ciertos lugares de tipos de terrenos escogidos.

## **2.- Tipos de suelos**

Debido a la complejidad y a la inmensa variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, para cada Proyecto de Líneas de Transmisión se hace una clasificación normalizada de los tipos de terrenos que cruza la línea a lo largo de toda su longitud, de acuerdo a la naturaleza de los suelos, según previo estudio Geológico que nos informa los tipos de mate-

riales de los suelos que atraviesa la Línea de Transmisión y, también, según estudio Geotécnico que comprende las siguientes pruebas mecánicas:

- 1.- Capacidad portante del terreno.
- 2.- Pruebas granulométricas.
- 3.- Angulo de fricción interna.
- 4.- Peso específico.
- 5.- Contenido natural de humedad.

En esta etapa de estudio de suelos, también, se tiene en consideración la inspección de la "Napa Freática" en ciertos suelos por donde cruza la línea. De igual manera, debe analizarse en los suelos, el estudio de la "Agresividad Química" del terreno, para aquéllos lugares sobre todo donde existe gran agresividad química, determinando el uso de Fundaciones de Concreto.

Las clasificaciones de Suelos Normalizados, para cada proyecto de Líneas de Transmisión, sirven para contar con un criterio técnico respecto al suelo de que se trate, proporcionando una información base a partir de la cual se sepa elegir el tipo de fundación normalizada a usar para cada una de las torres de Alta Tensión, de acuerdo al tipo de suelo de su lugar de ubicación.

Por ejemplo, para la L.T. 220 Kv. San Juan Independencia se han considerado tres tipos de Suelos Normalizados:

#### SUELO TIPO I

Formado por terrenos firmes como son las tierras compactas, terrenos sólidos compuesto por roca descompuesta, roca compacta, arena granulosa compacta, terrenos conglomerados y que tienen:

- Capacidad Portante mínima de 1.8 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Angulo de fricción interna de 30°.

#### SUELO TIPO II

Formado por suelos sueltos, como son las arenas, arcillas, limo-arena y que tienen:

- Capacidad Portante mínima de 1Kg/cm<sup>2</sup>.
- Angulo de fricción interna de 20°.

#### SUELO TIPO III

Formado por terrenos húmedos y terrenos con agua y que tienen:

- Capacidad Portante mínima de 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>.
- Angulo de fricción interna 10°.

### 3.- Tipos de Fundaciones

Las fundaciones de las torres son del tipo a cuatro patas independientes, cuyas características de diseño y construcción son establecidas en función del tipo de torre, por los esfuerzos transmitidos por ella a la fundación y, también, por la naturaleza del terreno.

La selección de los tipos de fundaciones de las torres, se hace en función de la naturaleza de los terrenos, de las condiciones de abastecimiento de agregados y agua en las regiones atravesadas por las Líneas de Transmisión.

Los tipos de fundaciones usadas en las Líneas de Transmisión son las siguientes:

- 1.- Fundaciones de concreto.
- 2.- Fundaciones metálicas.
- 3.- Fundaciones en Roca Sólida.

#### 3.1 Fundaciones de concreto

Las "Fundaciones de Concreto" son usadas en los terrenos arenosos cargados de depósito salinos, como es el caso de líneas próximas al mar, cuyos terrenos son químicamente agresivos. También, son usadas en zonas pantanosas e inundables de agua donde el nivel de la "Napa

Freática" está mas alto que el nivel de la base de la fundación.

Las Fundaciones de Concreto constan de lo siguiente:

Una columna de Concreto Armado, con una mínima resistencia de concreto a la compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> (a los 28 días).

Una Zapata de Concreto Armado, con una mínima resistencia de concreto a la compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> (a los 28 días).

Acero de Refuerzo del concreto, según las Normas ASTM 615 grado 60 y una resistencia de 4,200 Kg/cm<sup>2</sup>.

- Un STUB que es un perfil angular de acero de alta resistencia de CLASE ST-52, según las Normas DIN 17100 y están galvanizados en caliente.

El STUB va protegido con brea y empotrado en el centro de la columna de concreto y en su parte superior se empalma o se traslapa con el perfil montante de la pata de la torre.

Las dimensiones de las Fundaciones de Con-

creto varían para cada proyecto de Líneas de Transmisión, según el peso de tipo de torre del proyecto, cargas actuantes en la torre y tipo de suelos.

Una típica fundación de concreto se muestra en el plano N<sup>o</sup> 2.1, en el anexo N<sup>o</sup>2.

### 3.1.1 Concreto para las fundaciones

En Líneas de Transmisión, el Concreto Armado preparado para las fundaciones de las torres, consiste en cemento portland, agregado fino, agregado grueso, agua y acero de refuerzo, con una resistencia del concreto característica a la compresión de acuerdo a las indicaciones de la Tabla N<sup>o</sup> 2.1 y un grado de consistencia del concreto fresco, medido por el "Ensayo del Asentamiento del Tronco de Cono", de 5 a 10 cms., conforme a la Norma ASTM, C143.

### 3.1.2 Proporción de mezclas de concreto

La proporción de la mezcla, cemento-agregado fino-agregado grueso, se diseñan por volumen, haciendo un estudio en Laboratorios Oficiales, de las muestras de agregados de las Canteras Seleccio-

RESISTENCIA MINIMA A LA COMPRESION	TAMAÑO DE AGREGADOS	E M P L E O
KG / Cm <sup>2</sup>	Pulgadas	
210	3/4	Para las columnas de las fundaciones.
210	1 - 1/2	Zapatas de las fundaciones.
140	2 - 1/2	Para solados, rellenos de sobre-excavaciones cuando sea necesario.

TABLA Nº 2.1.- RESISTENCIAS MINIMAS A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS DE COLOCADO EL CONCRETO.

nadas, para cada Proyecto de Lineas de Transmisión, tales como:

- Análisis Granulométrico.
- Peso Específico.
- Estudio de Abrasión.

La determinación de la relación agua-cemento, requerida para la mezcla de concreto, se diseñan haciendo un estudio en Laboratorios Oficiales, con las resistencias de las muestras de concreto que provienen de los agregados de las canteras seleccionadas, cuyos ensayos se realizan en probetas cilíndricas de 15 x 30 cms., curadas durante 28 días de acuerdo a las Normas ASTM C31. Esta relación agua-cemento debe cumplir con la resistencia mínima a la compresión a los 28 días, según se indica en la Tabla Nº2.1.

### 3.1.3 Colocación y compactación del concreto

La "Colocación y Compactación del Concreto" se realiza siguiendo el "Programa Preventivo de Trabajo Mensual", según las ubicaciones de torres ya previstas y teniéndose en consideración lo siguiente:

- 1.- Verificar que el "STUB" de la fundación que se empotra en la columna del concreto, se encuentre firme y adecuadamente fijado en su posición correcta para que no se desplace durante el vaciado de concreto.
- 2.- Verificar que las cotas y dimensiones del encofrado de las fundaciones, correspondan con las de los planos de las Fundaciones de Concreto, así mismo, verificar que los encofrados estén terminados adecuadamente para evitar los posibles movimientos y deformaciones debido al peso propio del concreto.
- 3.- Verificar la correcta ubicación de las varillas de acero de refuerzo y de los tubos PVC, que se empotran dentro de la columna de concreto, para que pase el conductor del Sistema de Puesta a Tierra.
- 4.- Se debe tener en consideración que el concreto correspondiente a cada fundación, sea vaciado en forma continua hasta completar esta operación de co-

locación.

La "Compactación del Concreto", se realiza inmediatamente después de colocado el concreto para alcanzar una alta densidad, lograr una masa uniforme, obtener un mínimo contenido de aire atrapado. Para ello, se utiliza vibradoras del tipo inmersión, siendo favorable en Lineas de Transmisión, por ser de peso liviano y ser posible el transporte con personas, en los lugares donde hay acceso de caminos de herradura para llegar a las torres.

### **3.2 Fundaciones Metálicas**

Las "Fundaciones Metálicas" están compuestas por perfiles angulares "L" y vigas en "U" que son de acero de alta resistencia de clase ST-52, según las Normas DIN 17100, estando éstos galvanizados en caliente.

Estas fundaciones se conforman de una zapata que está formada por un enrejado metálico que, a su vez, consta de dos vigas en "U" con agujeros por donde se encastran perfiles en "L", conformando la zapata. A la vez de la zapata, se

conectan 4 ángulos "L" que forman una pirámide y están unidos entre sí, en la parte superior, con el perfil montante de la pata de torre. La forma y dimensiones de una típica Fundación Metálica, se muestra en el plano NO 2.2 en el anexo NO2.

Las Fundaciones Metálicas son usadas en terrenos firmes, terrenos compactos, en zonas rocosas, en zonas arenosas pero sin depósitos salinos como es el caso de Líneas de Transmisión que están lejos del mar. En general, estas fundaciones se usan en todas las torres que están ubicadas en lugares donde el acceso es difícil.

### **3.3 Fundaciones en roca sólida**

Estas fundaciones son de concreto armado con una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> (a los 28 días) y están formadas por sólo una columna de concreto, en la que se empotra el STUB de la fundación.

Estas fundaciones sólo son usadas en los lugares donde el terreno es de roca sólida y está constituido por un STUB, que se empotra directamente en el hoyo excavado en la roca, su forma es cilíndrica o cónica; según diseño del proyectista.

Los detalles de una fundación típica en roca sólida, se muestra en la figura N° 2.1, en el anexo N° 2.

#### **4.- Excavación de las fundaciones**

En Líneas de Transmisión, la partida de excavación para las fundaciones de las torres, comprende de su ubicación de acuerdo a los planos de ejecución (para cada tipo de fundación), de las operaciones de perforación utilizando equipos adecuados de acuerdo al tipo de terreno, de las operaciones de voladura en terrenos rocosos. comprende la ubicación de los materiales excavados en sitios donde vayan a emplearse después como material de relleno.

Antes del inicio de las excavaciones, debe ser ejecutada la limpieza del lugar en un área suficiente para que la tierra excavada quede libre de cuerpos extraños y pueda ser utilizada posteriormente para el relleno.

##### **4.1 Clasificación del material de excavación**

Los materiales de las excavaciones se clasifican en:

- A) Material suelto.
- B) Roca fija.
- C) Agua.

#### **A.- Material Suelto**

Comprende la excavación de todos los materiales sueltos que pueden excavarse a pulso o por medios mecánicos (palas mecánicas) sin el uso de explosivos.

Se considera material suelto, aquél constituido por tierra blanda, tierra dura, arena, roca desintegrada, los terrenos constituidos por piedras sueltas.

#### **B.- Roca fija**

Se considera que la excavación se hace en roca fija, cuando sólo es posible realizarlo utilizando explosivos.

#### **C.- Agua**

Se considera excavación en agua, en lugares de zonas pantanosas, en terrenos con agua donde el nivel de la Napa Freática está por encima del fondo de la excavación de tal ma-

nera que se tenga que evacuar el agua por bombeo directo empleando bombas centrífugas y poniendo instalaciones necesarias para el desgüe desde el inicio de los trabajos de excavación.

#### 4.2 Dimensiones de excavaciones de las fundaciones

Para cada proyecto de Líneas de Transmisión, las dimensiones de las excavaciones de las fundaciones, dependen del tipo de fundación a usarse, tipo de suelo y tipo de torre, en cada una de las ubicaciones de éstas, a lo largo de toda la Línea de Transmisión, según los planos de ejecución de fundaciones en los que se indica la profundidad "H" y la sección cuadrada o rectangular, tal como se muestran en los planos Nº 2.1 y Nº 2.2 en el anexo Nº 2.

#### 4.3 Ubicación del centro de las excavaciones de fundaciones

La ubicación del centro de la excavación de cada fundación se realiza con la ayuda del teodolito, tomando como punto de referencia la "ESTACA CENTRAL", que es el centro de ubicación de la torre y que se ubica en el eje de la dirección de la Línea de Transmisión.

Los centros de las excavaciones se ubican de acuerdo a distancias horizontales diagonales, distancias perpendiculares y distancias paralelas al eje de la Línea de Transmisión, tal como se puede observar en el plano N° 2.1, en el anexo N°2.

Las distancias horizontales varían de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- 1.- Tipo de fundación a usarse en los proyectos.
- 2.- Tipo de suelo de ubicación de la torre.
- 3.- Tipo de torre.
- 4.- Tipo de extensión de torre.
- 5.- Tipo de patas de la torre.

En Torres de Suspensión, los centros de las excavaciones de las fundaciones, se ubican en ejes ortogonales cuyo centro es la "ESTACA CENTRAL" y que están a 45 grados horizontales, respecto del eje de la Línea de Transmisión.

En Torres de Angulo, el centro de las excavaciones de las fundaciones se ubican tomando los ejes ortogonales en el eje de referencia de la bisectriz del suplemento del ángulo de deflexión de la Línea de Transmisión.

#### 4.4 Profundidad de las excavaciones de fundaciones

La profundidad de las excavaciones de las fundaciones se determinan de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- 1.- Tipo de fundación a usarse en los proyectos.
- 2.- Tipo de suelo de ubicación de la torre.
- 3.- Tipo de torre.
- 4.- Tipo de extensión de torre.
- 5.- Tipo de pata de torre.
- 6.- De las secciones diagonales topográficas, del terreno de cada pata de torre, en la zona de ubicación para cada torre.
- 7.- Plantilla de patas de cada tipo de torre.

#### 4.5 Tolerancia en las excavaciones

La cota del fondo de las excavaciones, para las fundaciones podrá tener un error del  $\pm 3$  cms., según los proyectos de Líneas de Transmisión de 220 Kv.

#### 4.6 Recomendaciones generales para las excavaciones

En las excavaciones para las fundaciones se debe tener en consideración las siguientes recomendaciones:

- 1.- En lugares donde hay circulación de personas, mientras las excavaciones estén abiertas deben cercarse, a fin de evitar accidentes.
- 2.- Las excavaciones no deben permanecer abiertas por largo tiempo, especialmente, en suelos donde predomina la arcilla, para evitar el desprendimiento de piedras y conservar los perfiles teóricos excavados hasta la colocación del revestimiento definitivo.
- 3.- El material excavado debe colocarse en las áreas adecuadas, de forma tal que resulte firme, estable, suficientemente drenado, para que se utilice como relleno si **cumple** las condiciones de ser utilizable como material de relleno.
- 4.- Las excavaciones en tiempos lluviosos deben ser evitadas y los pozos ya abiertos deben ser cubiertos para evitar el ingreso del agua, haciéndose, además, drenajes adecuados alrededor de éstas, para impedir procesos de erosión y desmoronamiento.

#### 5.- Nivelación de Base de Torre

La Nivelación de la base de torre, consiste en

armar ésta, de tal manera de poner su parte superior (cuadrante horizontal de base) en posición horizontal y además dar las inclinaciones adecuadas de las fundaciones con los montantes de la base de torre, de tal manera de poder, después, armar exactamente el "Cuerpo Básico de la torre", sin ningún problema.

La nivelación de la base de torre es una de las actividades de la construcción de la Línea de Transmisión, que requiere de mucha minuciosidad y control, pues de ésta depende si se puede armar el "Cuerpo Básico" de la torre sin ningún esfuerzo excesivo en los perfiles que componen el "Cuerpo Básico" de la torre.

#### **5.1. Ejecución de la Nivelación de base de torre**

La base de la torre es nivelada, estando ésta previamente armada y orientada con la ubicación de las fundaciones a 45 grados horizontales (topográficamente) respecto del eje de la Línea de Transmisión, en las Torres de Suspensión.

En las Torres de Angulo, la base de la torre es orientada con la ubicación de las fundaciones a 45 grados horizontales (topográficamente) respecto del eje de la bisectriz del suplemento del ángulo de deflexión de la Línea de Transmisión.

La base se nivela usando el teodolito y realizando las siguientes consideraciones:

- 1.- Ubicación de los centros de las zapatas de las fundaciones de la torre, por medio de distancias diagonales, perpendiculares y paralelas al eje de la Línea de Transmisión, tomando como punto de referencia la ESTACA CENTRAL de ubicación de torre.
- 2.- Que la parte superior de la base de torre (cuadrante horizontal de base), se ubique en posición horizontal y perpendicular a la dirección de la plomada.
- 3.- Dar las inclinaciones adecuadas de las fundaciones en la misma dirección de los montantes de las patas de la torre que forman la base. Estas inclinaciones se logran con la ayuda de distancias horizontales entre montantes de patas de la base de torre, las que varían de acuerdo a:
  - 1.- Tipo de torre.
  - 2.- Tipo de fundación.
  - 3.- Tipo de extensión de torre.
  - 4.- Tipo de patas de torre.
- 4.- Terminada la "Nivelación de Base" de la torre,

a ésta se le ajustan todos sus pernos, para después comenzar a armar el "Cuerpo Básico" de la torre.

Ver detalles de "Nivelación de Base" de torre, con distancias de acotamiento horizontal y distancias inclinadas en la figura Nº 2.2 en el anexo Nº2.

## 5.2 Tolerancias de nivelado de base de torres

En la nivelación de la base de torre deben ser respetadas las siguientes tolerancias:

1.- Nivelamiento del cuadrante horizontal de la base de la torre:

-Cota en diagonal de la torre: 1 mm/m.

-Cota en lado de la torre : 1 mm/m.

2.- Distancias horizontales:

-Diagonal de la torre : 1 mm/m.

-Lado de la torre : 1 mm/m.

3.- Inclinación real del montante:  $+ 0^{\circ}10'$   
de la pata de la torre.

4.- Orientación de la base completa res-:  $+0^{\circ}15'$   
pecto de su eje de referencia.

5.- Desplazamiento del centro de la torre:

-Longitudinal a la línea · + 50 mm.

-Transversal a la línea · ± 25 mm.

Estas tolerancias están en base a proyectos de Línea de Transmisión de 220 Kv.

## 6.- Relleno compactado

En Líneas de Transmisión, la partida del "Relleno Compactado" consiste en suministrar, colocar y compactar los materiales de rellenos permanentes que cubren los espacios libres entre las fundaciones y las caras de las excavaciones abiertas del terreno, empleando el material proveniente de las excavaciones, de canteras o utilizando material de préstamo, que cumplen con la prueba del "Proctor Estándar".

Previamente a esta actividad del "Relleno Compactado", se realiza la instalación del "Sistema de Puesta a Tierra", que se menciona en el siguiente capítulo III.

### 6.1 Condiciones que deben cumplir los materiales de relleno

Los materiales de relleno deben pasar por la

"Prueba del Proctor Estándar", que consiste en calcular el peso específico de material suelto de las excavaciones de las fundaciones de las torres, para determinar si el material excavado sirve como relleno o no.

El peso específico del material suelto de las excavaciones que pasan por la Prueba del Proctor Estándar, debe ser mayor de  $1,600 \text{ Kg/m}^3$ , este valor está normalizado para los rellenos de fundaciones de Líneas de Transmisión.

Si el material excavado de las fundaciones no es aceptable como relleno por tener el peso específico menor de  $1,600 \text{ Kg/m}^3$ , entonces se usará material compactable de canteras o material de préstamo, siempre y cuando, pasen las Pruebas del Proctor Estándar, teniendo pesos específicos mayores de  $1,600 \text{ Kg/m}^3$  y además que éste material no tenga elementos orgánicos.

## 6.2 Elección del material de relleno

El material, para el relleno en las fundaciones, es elegido de acuerdo a los conceptos siguientes:

### 1.- RELLENO NORMAL,

Es el relleno escogido del mismo material de

las excavaciones de las fundaciones, cuando éste reune la condición de ser compactable después de ser sometido a la Prueba del Proctor Estandar, para determinar su peso específico, comprobando que sea mayor de 1,600 Kg/m<sup>3</sup>.

El relleno debe estar libre de material orgánico, de tierra vegetal y libre de cualquier otro material que pueda causar asiento prolongado o permeabilidad.

## 2.- RELLENO SELECCIONADO

Es el relleno escogido exclusivamente de Canteras, de Areas de Préstamo que son lugares donde se prepara el material de relleno para ser usado en aquellos lugares donde la naturaleza del terreno tiene material poco o nada compactable como son los terrenos húmedos, terrenos con agua, terrenos con arenas limosas, terrenos de roca, etc.

### 6.3 Colocación y compactación del material de relleno

Previo a la colocación del relleno, todos los espacios libres entre las fundaciones y las caras de las excavaciones, deben estar libres de basura y agua.

El material de relleno será colocado en capas de 30 cms. de espesor incorporándose agua (de acuerdo a la cantidad que se determina en la Prueba del Proctor Estándar) y compactándose con compactadoras mecánicas de modo homogéneo en todo el espesor del relleno para obtener una buena compactación.

El peso específico o grado de compactación será el 90% del peso específico del Proctor Estándar del material de Relleno Normal o Relleno Seleccionado, mediante la comprobación real del peso específico del material estando compactado en el campo.

Para terrenos de fuerte pendiente, mayor de 30°, se contempla el empleo de cuñas, compensando el volumen de relleno mediante el empleo de muros o cuñas de concreto ciclopeo compuesto por piedras cuyos tamaños no deben ser mayor de 1/3 del ancho más pequeño del muro en construcción. Como acabado final, en la parte superior de la fundación se dá una pendiente adecuada para evitar la acumulación de agua.

## CAPITULO III

### SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

#### 1.- Resumen

El presente capítulo está orientado a los trabajos de campo, que se realizan para la instalación de los Sistemas de Puesta a Tierra en Líneas de Transmisión con Torres de Alta Tensión, siendo ésto un tema de mucho interés y de gran importancia, sobre todo para aquéllos profesionales ingenieros y personal técnico de Líneas de Transmisión, que tienen que planificar y dirigir la instalación de estos sistemas a lo largo de toda la Línea de Transmisión.

Se hace mención de una tecnología actualizada en las mediciones de "Resistividad del Terreno" y de la "Resistencia de Sistemas de Puesta a Tierra", siendo éstas aceptadas internacionalmente, además, se indican consideraciones prácticas y recomendaciones para llevar a cabo estos tipos de mediciones en el campo en forma eficiente.

## 2.- Objetivo de la puesta a tierra en líneas de Transmisión

Los objetivos de los Sistemas de Puesta a Tierra, en Líneas de Transmisión son los siguientes:

- 1.- Proteger a las personas, mediante tensiones de Toque y de Paso, haciéndolas de baja magnitud, evitando, de esta manera, los gradientes peligrosos entre la estructura y el suelo, durante fallas de origen atmosférico o sobretensiones internas.
- 2.- Conducir a tierra las elevadas corrientes provenientes de descargas atmosféricas o por sobretensiones de origen interno, evitando sobretensiones o deterioros por corrientes de cortocircuito.
- 3.- Proporcionar un circuito conductor y dispersor de baja impedancia, a un menor costo para lograr la operación rápida de los elementos de protección por relés y, éstos, operen sobre los interruptores aislando el sector fallado.
- 4.- Propiciar un circuito conductor de retorno de corrientes de operación normal, como en los sistemas de conducción en corriente continua, neutro a tierra en corriente alterna.

### 3.- Determinación de la resistividad de los suelos

La determinación de la Resistividad Eléctrica de los terrenos en cada ubicación de las estructuras de la Línea de Transmisión se considera de importancia fundamental para efectuar el diseño y elección adecuado de los Sistemas de Puestas a Tierra en cada una de las estructuras a lo largo de toda la Línea de Transmisión. Estas mediciones se realizan conjuntamente con el Replanteo Topográfico de la Línea, usando el sondeo eléctrico, donde se obtiene información para determinar las Resistividades Aparentes que después son graficadas, para ser comparadas con el gráfico de "Familias de Curvas Patron", y así, hallar la estimación de la Resistividad del terreno circundante.

#### 3.1 Método para las mediciones de resistividad de los suelos

El método normalmente empleado para la determinación de la Resistividad Eléctrica del Terreno, es el "Método de Wenner" que es internacionalmente aceptado para la consecución de datos para el diseño de Sistemas de Puestas a Tierra. Este método consiste en clavar 4 electrodos, de tal manera, que se pueda inyectar al terreno una corriente mediante un par de ellos y medir la diferencia de potencial entre los otros dos. Se supone, para el análisis, que no existe un campo

de potencial perturbador como podría ser, por ejemplo, el de una puesta a tierra cercana al lugar de medición que estuviese conduciendo a tierra corrientes residuales permanentes.

El "Método de Wenner" con su configuración de los cuatro electrodos se muestra en la figura Nº 3.1, donde los electrodos se colocan en línea recta y a una profundidad de penetración "b", debiendo estar igualmente espaciados a una distancia "A".

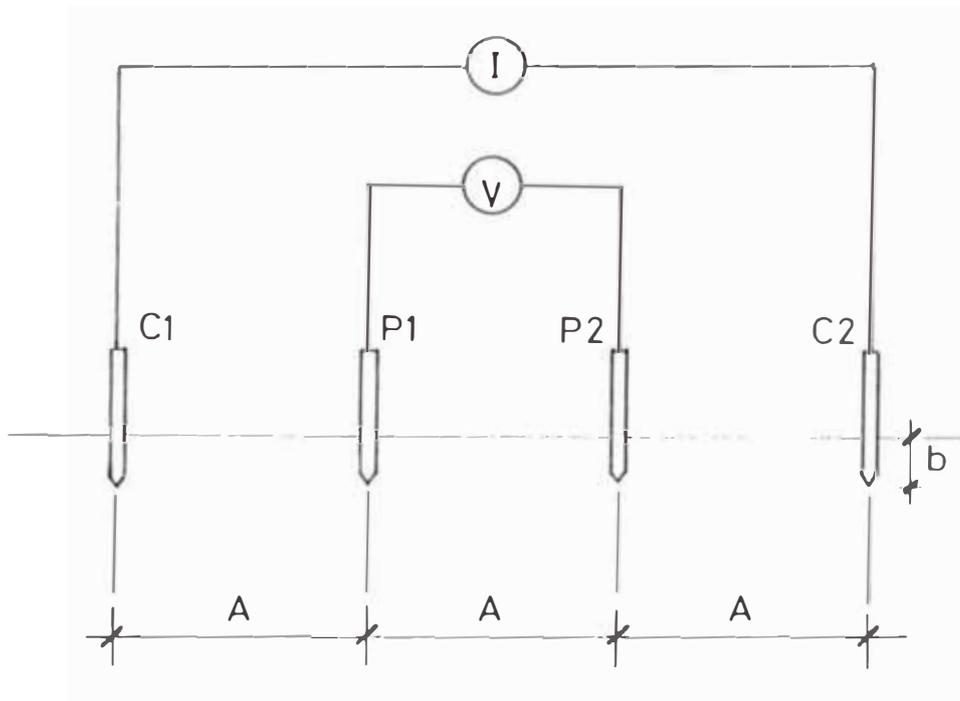
Luego, por los electrodos extremos C1 y C2, se hace fluir una corriente eléctrica I, mientras que entre los electrodos intermedios P1 y P2 (que están colocados en línea recta entre C1 y C2) se mide la diferencia de potencial V.

Al usar esta configuración si la distancia entre electrodos y la resistencia medida por el instrumento son conocidas, la "Resistividad Aparente" del suelo, estará dada por la siguiente expresión:

$$\rho_a = 2 \pi AR \quad (1)$$

Donde:

$\rho_a$  = Resistividad aparente del terreno (ohm -mts)  
**A** = Distancia entre electrodos (mts).



LEYENDA :

- C1 y C2 = Electrodo de corrientes
- P1 y P2 = Electrodo de potencial
- A - Separación de los electrodos
- b - Profundidad de penetración de los electrodos
- (I) = Corriente inyectada entre los electrodos C1 y C2
- (V) = Diferencia de potencial entre los electrodos P1 y P2

FIGURA N° 3.1

METODO DE WENNER PARA LA MEDICION DE RESISTIVIDAD

R - Resistencia medida por el instrumento (ohm).

El valor de la resistividad aparente obtenido de aplicar la ecuación (1), tendrá un valor ficticio que no corresponde, en general, a ninguna de las resistividades presentes en el terreno, sino a una cierta combinación de las resistividades de los estratos abarcados del terreno.

La resistencia medida por el instrumento, tiene la dimensión de una resistencia, pero carece de sentido físico real.

La separación de los electrodos, para las mediciones de resistividad en los lugares de ubicación de las torres, son en las siguientes series de distancias de separación de los electrodos:

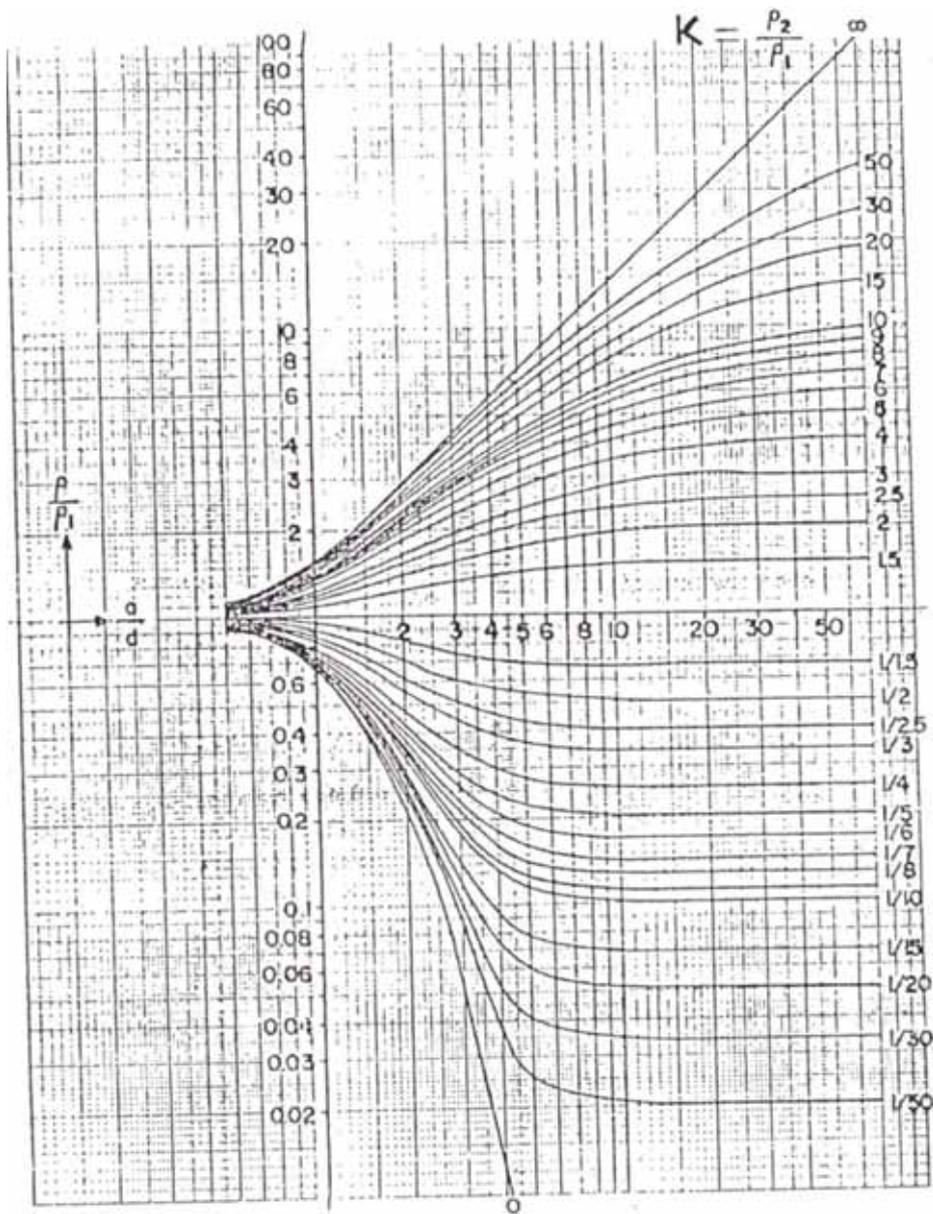
A: 1, 2, 4, 8 y 16 mts.

Para cada separación "A" de los electrodos, se obtiene una medición de "Resistividad Aparente" y se pueden graficar estos valores versus la distancia de **separación** de los electrodos, lográndose trazar las "Curvas de Resistividad Aparente" con los datos obtenidos en el terreno en papel log-log.

### 3.1.1 Determinación de la medida de resistividad de los suelos

Sólo en los suelos homogéneos, sucede que la Resistividad Aparente medida a diferentes distancias de separación de electrodos de exploración es, aproximadamente, de valor fijo y es igual a la Resistividad Real

Pero en la realidad, los suelos que atraviesan la Línea de Transmisión son de muchas capas, pero como los Sistemas de Puesta a Tierra sólo están enterrados a 0.65 mts. de la superficie del suelo, entonces, es suficiente considerar el suelo de dos capas, para la determinación de la Resistividad Real. Para éstos suelos de dos capas, la estimación de sus medidas de Resistividad se hace mediante la "Familia de Curvas Patrón", que se muestra en la gráfica Nº 3.1 (publicada por el Ing. Justo Yanque Montufar) a la que se compara superponiendo en idéntica escala gráfica (en papel log-log), la Curva obtenida de los puntos medidos sobre el suelo, manteniendo el paralelismo de los ejes hasta lograr la mayor coincidencia, luego, marcar el "Centro Origen" de la "Familia de Curvas Patrón" en el



GRAFICA N° 3.1

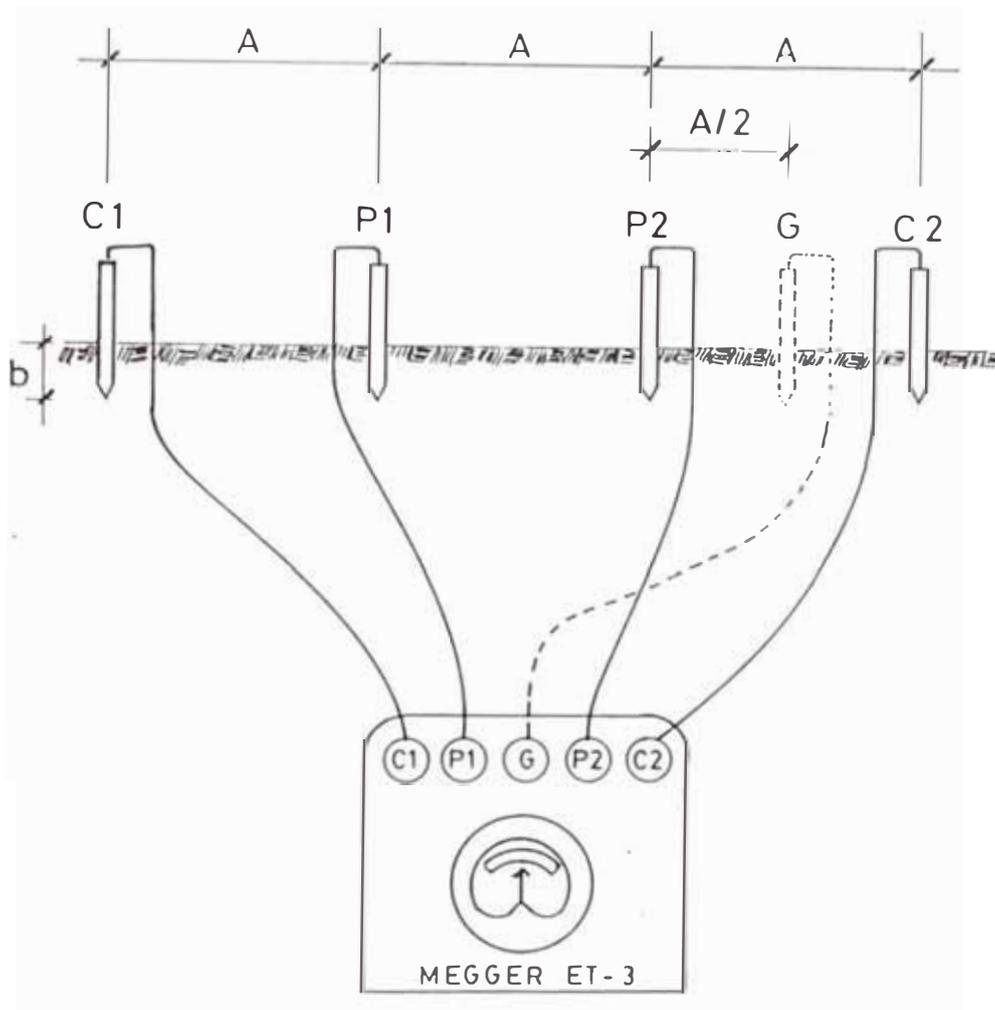
FAMILIAS DE CURVAS PATRON

gráfico del suelo y a partir de él, leer en ordenadas la Resistividad correspondiente a la capa superficial y en abscisas el espesor de la misma "e<sub>1</sub>". Para el estrato subyacente leer al final de la curva coincidente del patron, el valor de "K" que relaciona  $\rho_2$  y  $\rho_1$ , siendo  $\rho_2$  la Resistividad de la capa subyacente.

### 3.2 Consideraciones reales de campo para la medición de resistividad de los suelos

Para las mediciones de la Resistividad en los terrenos, a lo largo de la Línea de Transmisión, existen recursos prácticos y consideraciones de experiencia de campo que conviene tener presente para no obtener resultados que conduzcan a conclusiones erróneas. Estas consideraciones son las siguientes:

- 1.- Se coloca el instrumento en el sitio de ubicación de la torre, para realizar las respectivas mediciones, luego, se escoge una dirección tal que no existan obstáculos importantes, tales como rocas, árboles, etc.
- 2.- Se monta el circuito de **la figura Nº 3.2.** usando como instrumento de medida el MEGGER ET-3, que es el instrumento que más se adapta a las exigencias de la medición de resisti-



### LEYENDA

- C1 y C2 = Electrodo de corriente
- P1 y P2 = Electrodo de potencial
- G = Electrodo de guarda
- A = Separación de los electrodos
- b = Profundidad de penetración de los electrodos

FIGURA N° 3.2

ESQUEMA DE CONEXIONADO PARA LA MEDICION DE RESISTIVIDAD DEL TERRENO

vidad de los suelos. El galvanómetro del instrumento se hace funcionar por acción de una manivela, hasta que éste marque cero, siendo éste, el momento de saber el valor de la resistencia medida por el instrumento.

- 3.- Los electrodos se colocan en línea recta.
- 4.- Se introducen los electrodos en el suelo separados entre sí, a iguales distancias, siendo la secuencia de separaciones recomendable para cada medida de resistividad aparente, las siguientes:  
**A: 1, 2, 4, 8 y 16 mts.**
- 5.- Los electrodos deberán enterrarse en forma de establecer un buen contacto en el suelo, siendo la profundidad de introducción del orden de 10 a 30 cms. Si el terreno es deleznable, remover el material suelto hasta encontrar tierra firme y, luego, clavar el electrodo.
- 6.- En terrenos muy secos como las arenas, limos, materiales sueltos, en general, es recomendable verter un poco de agua en el punto de clavado de los electrodos, especialmente, en los de corriente. Además, es conveniente apisonar

un poco la tierra alrededor del electrodo.

- 7.- Verificar el buen contacto del electrodo con el suelo, también, el contacto en los puntos de conexión de las borneras del instrumento y en los puntos de toma de los electrodos.
- 8.- Para la medida de las distancias se recomienda no utilizar winchas metálicas o, si se usan, levantarlas del suelo durante la medición.
- 9.- Se regula el instrumento ajustando el selector de rangos, hasta que el galvanómetro indique cero, tomándose nota de la lectura de resistencia ficticia, haciéndose este procedimiento para cada medición efectuada.
- 10.- Durante las mediciones, es conveniente comprobar los valores medidos de resistencia, por lo menos en dos escalas diferentes de medición, cuando ésto sea posible. Si los valores resultan distintos, es probable que haya un mal contacto de los electrodos con el terreno.
- 11.- Si al hacer una medición la aguja del instrumento de indicación directa no llega a indicar el cero y permanece en una posición cualquiera y no es posible cambiar su posición

al operar sobre los controles, entonces, es necesario revisar el circuito eléctrico, puesto que debe estar interrumpido o puede ser que los electrodos de corriente estén haciendo un mal contacto con el terreno. Si al revisar las consideraciones anteriores, sigue el mismo problema, entonces el terminal de guarda G (del instrumento) debe ser usado y ser conectado a un quinto electrodo insertado en medio de los electrodos P2 Y C2.

12.- Se registran los valores obtenidos de cada medición de la resistencia (para cada espaciamento "A" de los electrodos), en las hojas de datos de campo.

13.- El valor de la Resistividad Aparente, para cada medición está dada por la fórmula de la ecuación (1), mencionada en el acápite NO 3.1, donde se indican los nombres de sus variables.

$$\rho_a = 2 \pi A R$$

14.- Para saber el valor de la "Resistividad del Terreno" circundante, se trazan las curvas de resistividad aparente y se comparan con la "Familias de Curvas Patrón", mencionados en el acápite NO 3.1.

#### 4.- Selección de los sistemas de puesta a tierra

Cada Proyecto de Construcción de Líneas de Transmisión, tienen sus propias configuraciones y dimensiones de sus Sistemas de Puestas a Tierra, que pueden ser con contrapesos simples, contrapesos dobles y combinados, éstos con jabalinas. Las dimensiones de éstos sistemas son previamente diseñados dependiendo:

- 1.- Del grado de seguridad para las personas y animales contra las tensiones peligrosas de toque y de paso.
- 2.- De la influencia que ejerce el comportamiento de la Línea de Transmisión, frente a las descargas atmosféricas.
- 3.- Según el grado de circulación de las personas a lo largo de la Línea de Transmisión, que pueden ser transitables, poco transitables y no transitables.
- 4.- De la "Resistividad del Suelo", donde se ubican las Torres.

Una muestra de las configuraciones de los Sistemas de Puesta a Tierra, en Líneas de Transmisión, se indican en el plano **Nº 3.1** en el anexo **Nº3**, correspondiente a la L.T. 220 Kv. San Juan-Independencia, donde se observa que cada sistema está

compuesto por combinaciones de anillo, jabalinas y contrapesos simples y dobles.

La selección de los Sistemas de Puesta a Tierra para cada estructura de la Línea de Transmisión y que previamente han sido diseñados, es de acuerdo:

- 1.- Al tránsito de las personas alrededor de cada estructura de la Línea de Transmisión.
- 2.- De acuerdo al valor de "Resistividad" medida en cada estructura y que se ubicará dentro de los rangos establecidos en el diseño.
- 3.- De acuerdo a la altitud de ubicación de cada estructura a lo largo de toda la Línea de Transmisión y que se ubicará dentro de los rangos establecidos en el diseño.

Para el caso de la L.T. 220 Kv. San Juan-Independencia, la selección se realizó en base a la circulación de personas y al valor de la Resistividad en cada una de las estructuras, ya que esta línea está ubicada en zona de costa, donde el nivel izocerámico es cero. Los rangos de selección de los Sistemas de Puesta a Tierra de esta línea son:

- 1.- Tránsitos de personas que permite escoger un sis-

tema de Puesta a Tierra, que está dentro de los valores siguientes:

- A) Zonas transitables : < 20 ohms
- B) Zonas poco transitables : De 20 a < 40 ohms
- C) Zonas no transitables : De 40 a < 80 ohms

2.- Rango de valores de Resistividad medida, que permite un Sistema de Puesta que está dentro de los valores siguientes:

- A)  $0 < \rho < 500$  (ohm - mts)
- B)  $500 < \rho < 1000$  (ohm - mts)
- C)  $\rho < 1000$  (ohm - mts)

En el plano Nº3.1. en el anexo Nº 3, se muestra una tabla típica de selección de éstos sistemas, correspondiente para la L.T. 220 Kv., San Juan-Independencia, incluyéndose además, la configuración de estos sistemas.

##### 5.- Medición de la resistencia de puesta a tierra

Las mediciones de la "Resistencia de Puesta a Tierra" se realizan en cada una de las estructuras (torres) de la Línea de Transmisión y tienen por objeto, determinar si los sistemas que se han instalado son eficaces y ésto se logra verificando que los valores medidos estén dentro de los rangos esta-

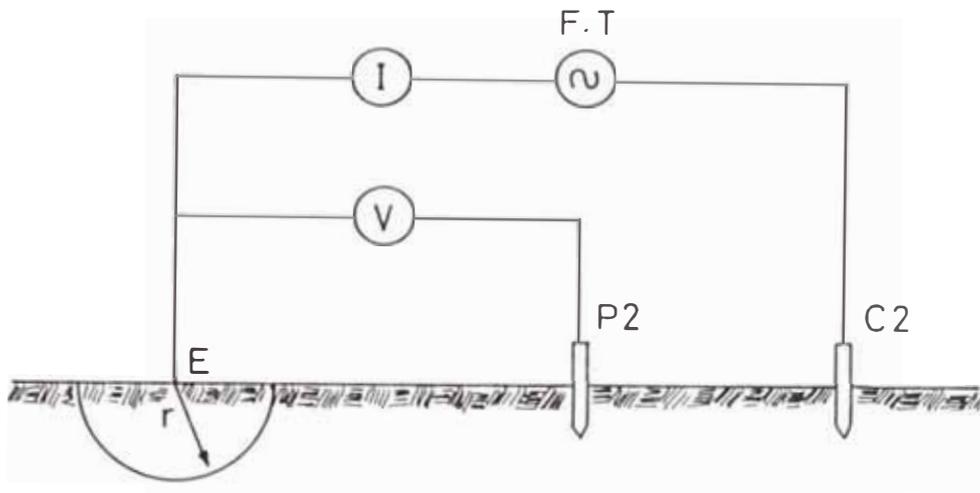
blecidos, según diseño de cada proyecto de Líneas de Transmisión, en donde se establecen tablas típicas de selección de estos sistemas.

### 5.1 Método para las mediciones de resistencia de puesta a tierra de los sistemas instalados

La Resistencia de Puesta a Tierra de los sistemas instalados se mide con el método clásico de tres electrodos, que es llamado "Método de la Caída de Tensión", que es, actualmente reconocido a nivel internacional. Este método utiliza la configuración de los tres electrodos en línea recta (ver figura NO 3.3), siendo uno de ellos el mismo sistema de Puesta a Tierra de la estructura ("E") y los otros dos son electrodos auxiliares P2 y C2, que se utilizan como complementos del conexionado.

Al circular una corriente conocida  $I$ , entre los electrodos E y C2, se mide la diferencia de potencial  $V$  que aparece entre E y P2, entonces la relación  $V$  entre  $I$ , dará el valor de la resistencia  $R$  en el punto P2.

Según el intervalo de confianza para la obtención de las medidas más precisas de la Resistencia de Puesta a Tierra, se aplica el criterio de "TAGG", que dice que la localización del electrodo de



- E = Sistema de Puesta a Tierra (electrodo de prueba)
- P2 = Electrodo de potencial
- C2 = Electrodo de corriente
- I = Corriente que circula entre los electrodos E y C2
- V = Diferencia de potencial entre E y P2
- F.T = Fuente de tension alterna
- r = Radio equivalente del area del sistema de Puesta a Tierra

FIGURA N° 3.3

METODO DE LA CAIDA DE TENSION PARA LA MEDICION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

potencial P2, deberá estar alejado del sistema a medir, unos 61.8% de la distancia de alejamiento del electrodo (distancia D), respecto del electrodo E. esta sola medida suministrará la Resistencia de Puesta a Tierra, lo cual evita la necesidad de medir en otros puntos intermedios.

#### 5.1.1 Curva de medición de la resistencia de puesta a tierra de un sistema determinado

Durante las mediciones de Resistencia de Puesta a Tierra, de un sistema determinado, es fundamental evitar el traslape de las áreas de influencia de los tres electrodos que intervienen y, en general, ésto puede lograrse graficando la "Curva de Medición de la Resistencia de Puesta a Tierra", como se indica en la gráfica N°3.2.

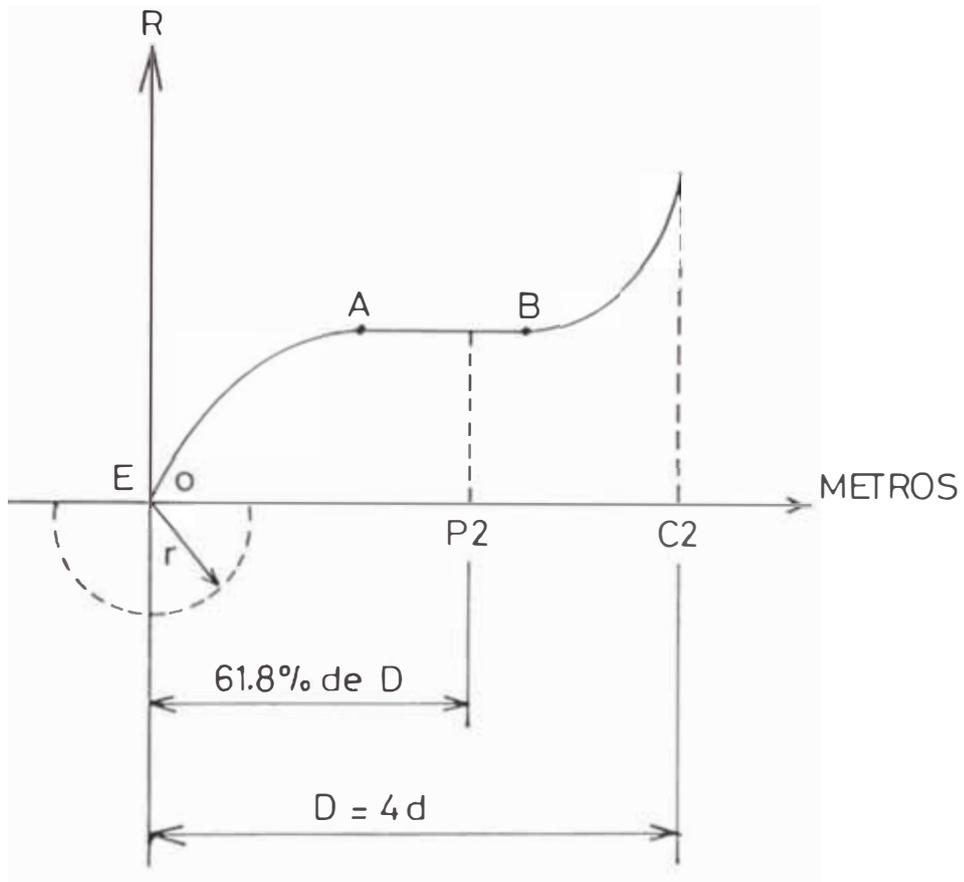
Esta curva se logra, si con el electrodo de potencial P2, realizamos mediciones de Resistencia de Puesta a Tierra, variando la distancia de éste electrodo P2, a partir del sistema de Puesta a Tierra a medir (electrodo E), hasta llegar a la posición del electrodo de corriente C2, obteniéndose la curva mostrada en la grafica N° 3.2.

Si observamos la curva, veremos que existe un tramo de ésta en que los valores varían ligeramente en la distancia AB. esta zona AB es la que se toma el valor de la Resistencia a Tierra del electrodo E, aproximadamente a unos 61.8% de la distancia de alejamiento del electrodo C2 (distancia D) respecto del electrodo E.

Para evitar el traslape de las áreas de influencia, se coloca el electrodo C2 a una distancia "4d" del electrodo E, donde "d" es el diámetro equivalente del área del Sistema de Puesta a Tierra. Si con esta distancia no se obtienen tres valores aproximadamente iguales de resistencia, entre la posición AB de la gráfica NO3.2, se debe incrementar a "6d", la distancia del electrodo de corriente C2.

## **5.2 Consideraciones reales de campo para la medición de resistencia de puesta a tierra de los sistemas instalados**

Las mediciones sobre el terreno no se realizan en condiciones uniformes, esto obliga a desarrollar y tomar en consideración ciertos recursos prácticos que se mencionan a continuación:



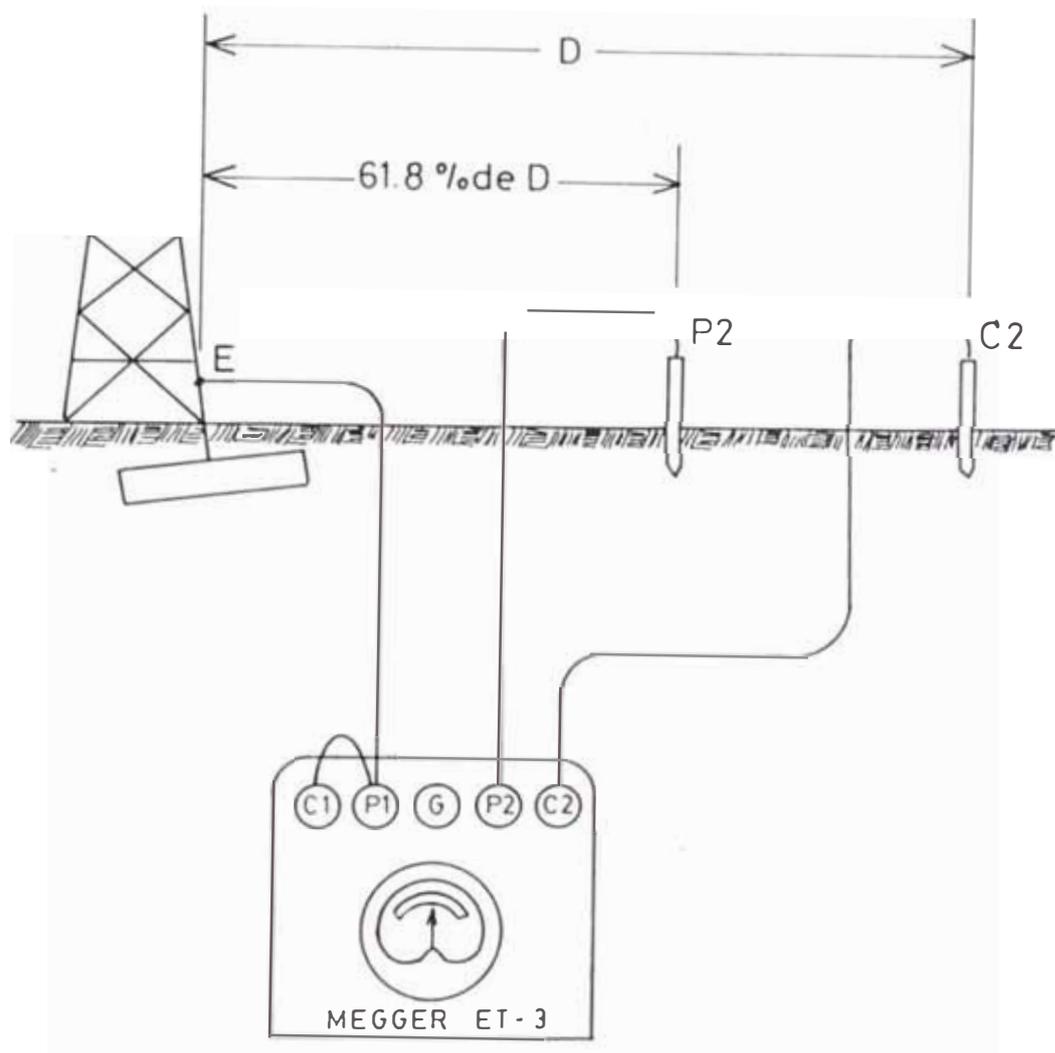
### LEYENDA

- E - Sistema de Puesta a Tierra (electrodo de medición)
- P2 = Electrodo de potencial
- C2 = Electrodo de corriente
- r = Radio equivalente del área del Sistema de Puesta a Tierra
- d = Diametro equivalente del área del Sistema de Puesta a Tierra
- D = Distancia comprendida desde el electrodo E hasta el electrodo C2
- R = Resistencia (ohms)

### GRAFICA Nº 3.2

CURVA DE MEDICION DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DE UN SISTEMA DETERMINADO

- 1.- Se elige un eje de medición en una dirección en la que no hayan obstáculos superficiales ni áreas que impidan el clavado de los electrodos de exploración, ni tampoco instalaciones eléctricas o ductos subterráneos.
- 2.- Identificar el área cubierta por el sistema de puesta a tierra instalado y determinar aproximadamente el radio equivalente " $r$ " de la zona de influencia.
- 3.- Asignar la distancia máxima " $D$ " de inyección de corriente, en función del diámetro equivalente " $d$ ", teniendo en cuenta que deberá ser por lo menos cuatro veces mayor (ver gráfica Nº 3.2) que " $d$ ".
- 4.- Armar el circuito mostrado en la figura Nº 3.4 usando como instrumento de medida el MEGGER ET-3, instrumento que se adapta a las exigencias de la medición.
- 5.- Los electrodos se colocan en línea recta.
- 6.- Verificar que el electrodo de potencial P2 esté ubicado en línea recta a 61.8% de la longitud que hay entre el punto de conexión con el Sistema de Puesta a Tierra E y el elec-



### LEYENDA

- E = Sistema de Puesta a Tierra (electrodo de medición)
- P2 = Electrodo de potencial
- C2 = Electrodo de corriente
- D = Distancia comprendida desde el electrodo E hasta el electrodo C2

FIGURA N° 3.4

ESQUEMA DE CONEXIONADO PARA LA MEDICION DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA EN UNA TORRE DE LINEA DE TRANSMISION

trodo de corriente C2.

- 7.- La profundidad de los electrodos será hasta que se presente una resistencia mecánica que defina un contacto aceptable, se pueden adoptar profundidades de 30 cms., para las medidas. Si el terreno es deleznable, remover el material suelto hasta encontrar tierra firme.
- 8.- Verificar los conductores aislados para evitar puntos de desgaste o degradación de aislamiento.
- 9.- Verificar el correcto contacto en los puntos de conexión de las borneras del instrumento y en los puntos de toma de los electrodos.
- 10.- Para la medida de las distancias, se recomienda no utilizar winchas metálicas o, si se usan, levantarlas del suelo durante la medición.
- 11.- Se regula el instrumento ajustándolo el selector de rangos hasta que el galvanómetro indique cero, tomándose nota de la lectura de la Resistencia de Puesta a Tierra.

## 6.- Recomendaciones para la ejecución de las mediciones de resistividad de los suelos y resistencia de puesta a tierra de sistemas instalados

A continuación se enlistan las siguientes recomendaciones para transmitir un mejor cuidado en las mediciones de campo:

- 1.- Nunca se debe medir la Resistividad y la Resistencia de Puesta a Tierra, en suelos mojados o húmedos, puesto que se miden valores bajos, que no son convenientes.
- 2.- No es recomendable efectuar las mediciones de Resistividad y de Resistencia de Puesta a Tierra, ubicando la disposición de los electrodos en línea paralela a Líneas de Transmisión energizadas, pues ésto trae errores de medición y, en éstos casos, los electrodos deben alinearse en una dirección perpendicular a la línea energizada, para evitar interferencias en las mediciones.
- 3.- En las Líneas de Transmisión con Cable de Guarda, las mediciones de Resistencia de Puesta a Tierra deben realizarse antes de la ejecución del Tendido de Conductores y Cable de Guarda, porque el Sistema de Puesta a Tierra debe ser medido en forma aislada.

## CAPITULO IV

### MONTAJE DE TORRES EN LINEAS DE TRANSMISION DE ALTA TENSION

#### 1.- Condiciones Generales

La ejecución del "Montaje de Torres en Líneas de Transmisión", requiere de un previo "Programa de Trabajo de Montaje de Torres", repartido en meses durante todo el período de trabajo que muestra el "Cronograma de Avance de Obra" que es contractual. Además, se necesita tener la infraestructura adecuada, personal idóneo y requiere de un minucioso control logístico desde la recepción de las estructuras metálicas de las torres, hasta el control del montaje de las Torres de Alta Tensión.

En esta etapa, deben estar superados los cambios de altura y tipo de torres a instalarse en la obra, vistas en la etapa del "Replanteo Topográfico" por condiciones técnicas presentadas en el campo.

Los criterios de la programación de trabajo,

consideraciones y recomendaciones del Montaje de Torres y, además, el Procedimiento del Montaje de Torres que se mencionan más adelante, se basan en experiencia recogida del campo.

## **2.- Torres de alta tensión en líneas de transmisión**

Las Torres de Alta Tensión, a que se refiere esta Tesis, son las "Torres de Celosía Autosoportantes", que son, generalmente, usadas en nuestra patria, porque se adaptan fácilmente a zonas accidentadas y pobladas.

Estas Torres son estructuras metálicas compuestas de perfiles (ángulos metálicos) unidos totalmente con pernos, formando entramados y son de forma troncopiramidal.

A manera orientativa, para tener una idea de los pesos de las Torres, se indican en la **Tabla NO 4.1** en el **anexo NO 4**, los pesos de cada tipo de torre considerándose las extensiones y patas de las torres.

### **2.1 Tipos de torres de alta tensión**

En cada proyecto de Líneas de Transmisión,

con Torres de Alta Tensión, existe una determinada configuración de Silueta de Torre, para adaptarse a las exigencias en cuanto a la disposición de los conductores y cable de guarda y, también, de acuerdo al número de ternas de conductores que tiene el proyecto, pero, en general, en todos los Proyectos de Construcción de Líneas de Transmisión, las Torres de Alta Tensión debido a las condiciones constructivas del proyecto, se clasifican según su "Función" en la Línea de Transmisión y son definidos como sigue:

- 1.- Torres de Suspensión.
- 2.- Torres de Angulo.
- 3.- Torres Terminales.
- 4.- Torres de Transposición.

#### 2.1.1 Torres de suspensión

Las Torres de Suspensión son llamadas también Torres de Alineamiento y sirven para sostén de los conductores y cables de guarda (si los hay), y se emplean en alineaciones rectas. Estas torres se clasifican en:

- A.- Torres de Suspensión liviana.
- B.- Torres de Suspensión Reforzada.

Las Torres de Suspensión Reforzada son más resistentes que las de Suspensión Liviana, porque soportan mayor vano medio, mayor vano gravante y un mayor ligero ángulo de desvío.

Las características de estas torres pueden verse en la tabla N°4.2 y su silueta en los planos N° 4.1 y N°4.2, en el anexo N° 4.

#### 2.1.2 Torres de ángulo

Las Torres de Angulo se emplean para sostener de los conductores y cables de guarda en los vértices de los ángulos de deflexión de la línea, que forman dos alineaciones distintas, éstas son más resistentes que las de alineamiento y tienen mayor vano de alcance.

Las características de estas torres se pueden ver en la tabla N°4.2 y su silueta en el plano N°4.1 y N°4.2 en el anexo N°4.

#### 2.1.3 Torres terminales de línea

Las Torres Terminales de Línea son llamadas, también, Torres de Angulo

Reforzado, sirven para proporcionar puntos firmes en la línea que limitan la propagación en la misma de esfuerzos longitudinales de carácter excepcional.

Estas torres se utilizan al principio y al final de las Líneas de Transmisión, también, se usan en los casos donde el cambio de dirección de la línea es fuerte.

Estas torres, también son usadas como protección contra el colapso de la línea en los casos donde los tramos rectos son largos como de 4 a 5 Kms. siendo el terreno plano y no existiendo ninguna torre de ángulo.

Las características de estas torres se pueden ver en la tabla N°4.2 y su silueta en el plano N°4.1 y N°4.2, en el anexo N°4.

#### 2.1.4 Torres de transposición

En Líneas de Transmisión de doble terna son usadas estas torres en los lugares donde se realizan las transposiciones de los conductores de la línea.

Están diseñadas para resistir en **sentido de** la línea o en ángulo, el tiro de los conductores de un mismo lado de la estructura, de tal forma de poder realizar las bajantes, puentes y subidas que realizan los conductores para realizar las transposiciones respectivas.

En Líneas de Transmisión de simple terna, no se usan estos tipos de torres, porque con Torres de Suspensión Reforzada se pueden hacer las transposiciones, haciendo girar la torre 180 grados en su ubicación.

Las características de estas torres se pueden ver en la tabla N°4.2 y su silueta en los planos N°4.1 y N°4.2, en el anexo N°4.

## **2.2 Partes de una torre de alta tensión**

En cada Proyecto de Líneas de Transmisión, existen muchas denominaciones de partes de Torres de Alta Tensión, puesto que cada fabricante de los diversos proyectos tienen sus denominaciones, de acuerdo a sus normas internas de fabricación de cada país, luego, de acuerdo a

estas denominaciones, se puede decir que la torre está compuesta por las siguientes partes:

- A.- Base.
- B.- Cuerpo Básico.
- C.- Cabeza Prismática.
- D.- Ménsulas.

#### A.- BASE

La Base de la Torre es la estructura metálica inferior compuesta por:

- A1.- PATAS
- A2.- CUADRANTE HORIZONTAL DE BASE

Ver esquema de la Base en el plano N°4.3 en el anexo N°4.

#### A1.- PATAS

Las Patas de Base de Torre están formadas por perfiles montantes, punto-nes, rompetramos (trasliches), cubrejuntas (empalme metálico) y planchas de refuerzo, que en conjunto se ensamblan uniéndose al Cuadrante Horizontal de Base

Las Patas son de diferentes tamaños,

variando su altura en + 1 metro, de acuerdo a la ubicación de estas en la configuración del terreno, donde se encuentra la torre.

#### A2.- CUADRANTE HORIZONTAL DE BASE

Es un marco metálico de perfiles angulares que forman un cuadrado ubicado en la parte superior de la Base de la Torre.

Sus dimensiones dependen del tipo de extensión que usa la torre y sirve de plano de referencia para la Nivelación de la Base de Torre.

#### B.- CUERPO BASICO

Está compuesto por tramos metálicos de forma troncopiramidal que tienen sus secciones cuadradas y cuatro caras metálicas de forma de trapecio que están unidas por montantes. Los tramos están constituidos por cuatro montantes, diagonales, rompetramos que son perfiles angulares y, además, por cubrejuntas internas, planchas de refuerzo, etc.

Este Cuerpo Básico puede aumentar o dis-

minuir en tamaño adaptándose en su extremo inferior "EXTENSIONES METÁLICAS" que varían en 3 metros de altura, ver esquema del Cuerpo Básico en el plano N°4.3, en el anexo N°4.

#### C.- CABEZA PRISMÁTICA

Está compuesto por tramos metálicos de forma prismática que tienen sus secciones cuadradas y tienen cuatro caras metálicas de forma rectangular que están unidas por montantes. En estos tramos se sostienen las Ménsulas de Conductor y de Cable de Guarda.

Los tramos están constituidos por cuatro montantes de perfiles iguales, por diagonales, rompetramos, cubrejuntas internas, planchas de refuerzo, planchas soportes, planchas espesores. Su extremo inferior se ensambla perfectamente con la parte superior del Cuerpo Básico.

#### D.- MENSULAS

Son soportes metálicos para la sujeción de los conductores y cables de guarda (si los hay) de la Línea de Transmisión. Las Ménsulas están construidas con perfiles angulares que se unen a la Cabeza Prismática

mediante pernos y planchas soportes.

Las ménsulas de los conductores son ubicadas en las caras paralelas de la Cabeza Prismática con respecto de la dirección de la Línea de Transmisión.

Ver esquema de las ménsulas en el plano N°4.3, en el anexo N°4.

### 2.3 Características de montaje de torres de alta tensión

De acuerdo a las condiciones requeridas de obra, el montaje de las torres, tienen las siguientes características:

- 1.- Todos los perfiles están numerados para facilitar su ubicación en el montaje de la torre, de acuerdo a los planos de ensamblaje respectivos de las torres.
- 2.- Los perfiles de alta resistencia llevan una marca especial de una letra, para diferenciarlos de otros perfiles de acero normal.
- 3.- En cada tipo de torre se usan pernos de diámetro único para evitar errores en el monta-

je, salvo que se indique en los planos de montaje el uso de otros diámetros, como son los pernos para la conexión a tierra de las torres, los pernos de escalamiento, etc.

- 4.- Los pernos en posición vertical se instalan con la cabeza hacia arriba y los pernos en posición horizontal se instalan con la cabeza hacia adentro (interior de torre).

### 3.- Criterios para la elaboración del programa de montaje de torres de alta tensión

La Programación de Montaje de torre se hace considerando la fecha de suministro disponible de las estructuras metálicas, teniéndose la coordinación con el avance de la ejecución de Fundaciones y, además, considerándose que debe empezar el montaje por el extremo de la línea por donde va a empezar el trabajo de "Tendido de Conductores".

### 4.- Consideraciones previas para el montaje de torres de alta tensión

Con el objetivo de garantizar la ejecución del montaje de torres, es necesario conocer con anticipa-

ción las siguientes consideraciones:

- 1.- Se realiza con mucha anticipación la clasificación total física de los perfiles angulares de todos los tipos de torres en el almacén de ubicación de estructuras.
- 2.- En coordinación con el supervisor de la compañía, propietario de la Línea de Transmisión, solucionar previamente los problemas de Servidumbre en los terrenos del cultivo ocasionados en la etapa de Construcción de Fundaciones de las torres.
- 3.- Con anticipación, deben ser reparados los perfiles que han sufrido daños en el galvanizado, limpiándolos con escobillas de tal manera de sacar el óxido y removiendo las partículas de galvanizado sueltas. Luego, recubrir con dos capas de pintura de zinc en la zona dañada.
- 4.- Prevenirse con anticipación de las condiciones que se deben tener en el montaje de torres próximas a las líneas energizadas, teniendo en cuenta la proximidad de ésta a la torre que se quiere montar. Si la línea está muy cerca al lugar de la torre, se programa con anticipación el corte de energía de la línea cercana para la fecha prevista del montaje de torre, con la previa coordinación

de la empresa propietaria de la línea energizada cercana.

5.- En los casos donde las torres son ubicadas en las ciudades, prevenirse con anticipación de "Avisos de Señalización de Trabajo", durante el tiempo de montajes de torres, porque interfiere con el tránsito vehicular y peatonal.

#### **5.- Montaje de torres de alta tensión**

El "Montaje de Torres de Alta Tensión" se inicia estando la Base de torre nivelada y ajustada todos sus pernos (mencionado en el acápite N<sup>o</sup>5.1 del capítulo II), ejecutándose el montaje del "Cuerpo Básico" y de Ménsulas con personal idóneo de mucha experiencia en montaje de torres y con conocimiento de seguridad de personal que se debe tener durante el montaje de torres. Además, esta actividad es dirigida y supervisada por ingenieros de experiencia mediante una previa Programación de Trabajo.

#### **5.1 Método de montaje de torres de alta tensión**

El método de "Montaje de Torres de Alta Tensión" que se usa en Líneas de Transmisión es el llamado "AL AVANCE" consiste en hacer el montaje por

tramos, en el mismo lugar de ubicación de la torre y sobre su Base, de tal manera que los montadores van colocando los perfiles angulares de composición de las torres, empernándolos y ensamblando poco a poco todo el conjunto de piezas que componen la torre, según las marcas de éstas que se indican en los planos de montaje.

## 5.2 Equipos y herramientas utilizadas en el montaje de torres

Se deben emplear equipos y herramientas adecuadas que garanticen un buen funcionamiento durante los alzamientos de perfiles, dando seguridad al personal de montaje.

Los equipos y herramientas que se utilizan en los montajes de torres son los siguientes:

- 1.- Un winche con su propio cable piloto, con una tonelada de capacidad para los alzamientos de los perfiles.
- 2.- Una pluma de montaje de nueve metros de longitud.
- 3.- Sogas de naylon de 3/4"  $\varnothing$ , para la sujeción de la pluma y para hacer vientos adecuados

durante el alzamiento de las estructuras.

Sogas de naylon de 1/2"ø, para servicio.

- 4.- Pastecas (poleas) y aparejos de 1.5 toneladas para alzamiento de perfiles.  
Poleas de servicio de 1/2 tonelada, para alzamiento de herramientas y pernos.
- 5.- Estrobos de acero.
- 6.- Llaves mixtas para ajuste de pernos. según diámetros de pernos indicados en los planos de montaje.
- 7.- Llaves exagonales de rabo, según diámetros de pernos indicados en los planos de montaje.
- 8.- Dos torquímetros.

### 5.3 Procedimiento de montaje de torres de alta tensión

Aplicando el método "AL AVANCE", se sigue el procedimiento de armar las torres por tramos, desde su base hasta el término de armado de toda la estructura, tal como se menciona en los siguientes acápite NO5.3.1, NO5.3.2, y NO5.3.3, donde se ha tomado como modelo de montaje una torre tipo (CPT-3) de la L.T. 220 Kv. San Juan-

Independencia, con un ángulo de deflexión de  $35^{\circ}51'12''$ , ubicada en terreno rocoso a una altura de 488 mts. sobre el nivel del mar y estando su Base previamente armada en la etapa de su Nivelación.

Por el orden de los alzamientos se nombrará a los montantes, primer montante, segundo montante, tercer montante y cuarto montante, según van siendo instalados en los diferentes tramos de la torre.

Previamente al montaje, todos los perfiles (ángulos metálicos) deben estar clasificados en el lugar de la ubicación de la torre estando distribuidos ordenadamente de acuerdo a las partes de la torre, de tal manera que sea rápido de ubicarlos para su respectivo alzamiento. Ver foto N°1 en el anexo N°4.

#### **5.3.1 Armado del cuerpo básico**

Su armado para este tipo de torre (CPT-3), se ha dividido en tres tramos:

- A.- ARMADO DE TRAMO INFERIOR.
- B.- ARMADO DE TRAMO INTERMEDIO.
- C.- ARMADO DE TRAMO SUPERIOR.

## A.- ARMADO DE TRAMO INFERIOR

En el armado del tramo inferior, se tienen las siguientes instalaciones:

A1.- INSTALACION DEL PRIMER MONTANTE

A2.- INSTALACION DEL SEGUNDO MONTANTE

A3.- INSTALACION DEL TERCER Y CUARTO MONTANTE

### A1.- INSTALACION DEL PRIMER MONTANTE

Para la instalación del primer montante, la pluma de montaje es previamente sujeta en el montante de la pata de base que se elige (por condiciones de ubicación de winche en el terreno), para hacer la instalación con el primer montante, tal como se muestra en la foto N<sup>o</sup>2 en el anexo N<sup>o</sup>4.

Se instala una pasteca en la parte superior de la pluma, para hacer el alzamiento del montante por medio de un cable piloto que lo sostiene, utilizándose, además, pastecas de contratiro para hacer posible que el winche jale al cable piloto a la misma altura de su ubicación.

Luego, se procede al alzamiento del primer montante haciendo accionar el winche, de tal manera que al inicio su jalado es lento puesto que es controlado con vientos (sogas) en el suelo por los montadores hasta que el montante quede en altura y sostenido por el cable piloto en posición vertical. Se sigue el alzamiento en forma lenta, siendo controlado desde el cuadrante horizontal de base por los montadores y desde la parte superior de la pluma, por un montador que coordina y ayuda en las maniobras, tal como se muestra en la foto NO3 en el anexo NO4.

Una vez que el montante ha sido alzado a la altura de su instalación, se procede a realizar su acoplamiento al montante de la pata de torre respectiva, por medio de una cubrejunta interna (empalme de montantes), tal como se muestra en la foto NO4 en el anexo NO4.

Instalado el primer montante, se

procede a colocar los dos diagonales que unen al montante con el centro de los lados del cuadrante de la base, quedando reforzada la estabilidad del montante instalado.

#### **A2.- INSTALACION DEL SEGUNDO MONTANTE**

Para la instalación del segundo montante, la pluma de montaje se sujeta en el montante de pata que está ubicado al frente (en dirección diagonal) del primer montante instalado.

Luego, se procede al alzamiento del segundo montante, haciéndose las mismas consideraciones mencionadas para el alzamiento del primer montante, hasta realizar su acoplamiento con el montante de pata respectiva, tal como se muestra en la foto N°5 en el anexo N°4.

Para dar estabilidad al montante, se instalan las dos diagonales que unen al montante con el centro de los lados del Cuadrante Horizontal de Base. Luego, se instala un vien-

to en dirección diagonal y que se ancla en el suelo, quedando, de esta manera, el montante estable, para sujetar la pluma y realizar los alzamientos del tercer y cuarto montante.

### A3.- INSTALACION DEL TERCER Y CUARTO MONTANTE

Para el alzamiento de estos montantes se usará el segundo montante instalado, como soporte para la sujetación de la pluma.

Se procede al alzamiento del tercer montante y luego a su acoplamiento y enseguida, la pluma es girada en su misma ubicación hasta lograr una posición adecuada para hacer el alzamiento e instalación del cuarto montante. Ver las fotos N°6 y N°7, en el anexo N°4.

Instalados los cuatro montantes inferiores, se procede a la colocación de los diagonales y rompetramos, según las indicaciones de

los planos de montaje.

Se instala un cuadrante provisional en la parte superior de los cuatro montantes instalados, para reforzar la estabilidad de los cuatro montantes cuando se realicen los alzamientos de los montantes del Tramo Intermedio. Ver foto N°8 en el anexo N°4.

#### B.- ARMADO DE TRAMO INTERMEDIO

En el armado del Tramo Intermedio se tienen las siguientes instalaciones:

B1.- INSTALACION DEL PRIMER MONTANTE.

B2.- INSTALACION DEL SEGUNDO, TERCERO Y CUARTO MONTANTE.

B1.- INSTALACION DEL PRIMER MONTANTE.

Para la instalación de este montante, la pluma es sujeta en el segundo montante instalado del Tramo Inferior. Luego, se realiza el alzamiento del primer montante del Tramo Medio y, luego, su acoplamiento con el montante instalado del Tramo Inferior. Ver foto N°9 en el anexo N°4.

Este montante va a servir de soporte, para la sujetación de la pluma al realizar los alzamientos del segundo, tercero y cuarto montante y para asegurar su estabilidad se colocan los diagonales respectivos, según plano de montaje.

#### B2.- INSTALACION DEL SEGUNDO, TERCERO Y CUARTO MONTANTE

Con la ayuda de la pluma sujeta en el primer montante instalado, se realizan los alzamientos y acoplamientos en forma independiente para el segundo montante (Ver foto N°10 en el anexo N°4), tercero y cuarto montante.

Luego, se procede a la instalación de los diagonales y rompetramos, según los planos de montaje respectivos, ver foto N°11 en el anexo N°4.

Se instala, además, un cuadrante provisional en la parte superior de los cuatro montantes instalados,

para darles mayor estabilidad cuando se realicen los alzamientos de los montantes del Tramo Superior.

#### C.- ARMADO DE TRAMO SUPERIOR

Para la instalación del primer montante del Tramo Superior, la pluma se sujeta en el primer montante instalado del tramo medio. luego, se procede a su alzamiento e instalación, asegurándose su estabilidad con los dos diagonales de refuerzo.

Para la instalación del segundo, tercero y cuarto montante se usará al primer montante instalado, como soporte para la sujeción de la pluma de montaje, quedando, ésta, inclinada (con ayuda de vientos) y cambiando de posición hacia la dirección de alzamiento para las instalaciones del segundo, tercero y cuarto montante. Ver fotos N012 y N013 en el anexo N04.

Seguidamente, se instalan los diagonales y demás elementos, según los planos de montaje para reforzar la estabilidad de los montantes.

### 5.3.2 Armado de la cabeza prismática

Su armado se ha dividido en dos tramos:

- A.- ARMADO DE TRAMO INFERIOR.
- B.- ARMADO DE TRAMO SUPERIOR.

#### A.- ARMADO DE TRAMO INFERIOR.

Para la instalación del primer montante del Tramo Inferior, la pluma de montaje se sujeta en el primer montante instalado del Tramo Superior del Cuerpo Básico. Luego, se procede al alzamiento del primer montante con todos sus diagonales instalados en sus ubicaciones respectivas, puesto que son elementos livianos y, además, se logra mayor avance en el montaje, lográndose de inmediato, la instalación de los diagonales de refuerzo del montante para darle su estabilidad.

Para las instalaciones del segundo, tercero y cuarto montante, la pluma de montaje se sujeta en el primer montante instalado y en posición inclinada, procediéndose en forma independiente los alzamientos e instalaciones de los montantes, estando, en cada uno de ellos, instalados todos sus respectivos

diagonales, ver foto N<sup>o</sup>14 en el anexo N<sup>o</sup>4.

Conforme se van instalando los montantes, se van colocando los diagonales de un montante hacia el otro en sus respectivos lugares de sujeción, ensamblándose rápidamente las caras de la Cabeza Prismática. Ver foto N<sup>o</sup>15 en el anexo N<sup>o</sup>4.

#### B.- ARMADO DE TRAMO SUPERIOR.

Para la instalación de los cuatro montantes del Tramo Superior, se sigue mismo procedimiento que se ha utilizado para la instalación de los montantes del Tramo Inferior, de tal manera que una vez éstos instalados, se van uniendo sus diagonales, realizándose el rápido armado de las caras de las Cabezas Prismáticas de la torre conforme a los planos de montaje.

Terminado el ensamblaje de los perfiles, se procede al chequeo del ajuste de pernos de todo el Cuerpo Básico y de la Cabeza Prismática, ver foto N<sup>o</sup>16 en el anexo N<sup>o</sup>4.

### 5.3.3 Instalación de ménsulas

Las Ménsulas se instalan en las Caras de la Cabeza Prismática, que son paralelas a la dirección de la Línea de Transmisión y son ensambladas en el terreno, al costado de las caras paralelas para facilitar su alzamiento.

Por facilidad del montaje, las ménsulas se instalan empezando de la ménsula mas alta, hacia la ménsula mas baja tal como sigue:

- A.- INSTALACION DE MENSULAS SUPERIORES.
- B.- INSTALACION DE MENSULAS MEDIAS Y MENSULAS INFERIORES.

- A.- INSTALACION DE MENSULAS SUPERIORES.

Para la instalación de las Ménsulas Superiores, la pluma de montaje es sujeta en la parte superior de la cabeza prismática, según la ubicación de las ménsulas (lado derecho o izquierdo de la línea de transmisión).

Se realiza el alzamiento de la ménsula, siendo accionado por el winche y controlado desde el suelo por medio de vientos accionados por personas, para

evitar que la ménsula choque con el Cuerpo Básico de la torre, hasta llegar a la altura de su instalación, donde también con el viento se ayuda a instalar la ménsula, ver las fotos Nº17 y Nº18, en el anexo Nº4.

#### B.- INSTALACION DE MENSULAS MEDIAS Y MENSULAS INFERIORES.

Se utiliza a la Ménsula Superior como soporte para los alzamientos de las Ménsulas Medias e Inferiores, respectivamente, instalándose una pasteca en la parte inferior de la Ménsula Superior y otra pasteca sujeta en el montante de la Cabeza Prismática instalada a la altura de la ménsula superior y que sirve de contratiro para efectuar los alzamientos de las ménsulas.

Se procede al alzamiento de la Ménsula Media, siendo accionada por el winche y manipulado desde el suelo, por medio de un viento para evitar que se choque con el Cuerpo Básico y la Cabeza Prismática, hasta llegar a la altura de su instalación, en donde, con la ayuda del viento, se procede a instalarla con sus respec-

tivas planchas de sujeción en los montantes respectivos de la cara paralela de la torre.

Para el alzamiento de la Ménsula Inferior, se sigue el mismo procedimiento anterior, ver foto N°19 en el anexo N° 4.

Instaladas las Ménsulas en las dos ternas de la torre, se procede a realizar los ajustes de los pernos de las Ménsulas y la revisión de ajuste de pernos de toda la torre, quedando terminado el **trabajo** de "Montaje de Torre" En la foto N°20 , en el anexo N°4 se muestra un trabajo terminado de Montaje de Torre.

## 6.- Tolerancias de montaje de torres de alta tensión

En el Montaje de Torres de Alta Tensión, se tienen las siguientes tolerancias que no deberán ser sobrepasadas en una torre completamente montada antes y después del tendido de los conductores:

1.- Verticalidad : 2 m.m. por metro de altura

## 2.- Alineamiento

- Longitudinal: 50 m.m.
- Transversal : 25 m.m.

## 3.- Orientación            15 minutos de grado sexagesimal

## 4.- La desviación de las extremidades de las Ménsulas con respecto al eje transversal teórico de la torre, no deberá sobrepasar $1/200$ de la distancia entre la extremidad de la Ménsula y el eje de la torre.

Estas tolerancias son de acuerdo a los proyectos de Líneas de Transmisión de 220 Kv.

## 7.- Recomendaciones para el montaje de torres de alta tensión

Es **importante** conocer las recomendaciones necesarias recogidas de la experiencia de campo, para mayor rapidez, seguridad del personal y garantizar un buen montaje de torre.

Las recomendaciones son las siguientes:

- 1.- Con un día de anticipación al montaje de torre, debe estar realizada la clasificación de los elementos de composición de la torre (perfiles), en el lugar de su ubicación de la torre con la

ayuda de los planos de montaje, con el fin de tener ya ubicados los perfiles para su alzamiento respectivo.

- 2.- Debe analizarse antes del montaje los detalles de instalación de los diferentes componentes de la torre, según los "Planos de Montaje", tales como instalaciones de montantes, cubrejuntas, diagonales, rompetramos, planchas soportes de ménsulas, planchas espesores, etc., para tener seguridad y rapidez en el montaje.
- 3.- Se debe tomar como referencia para el alineamiento del armado de torres, la dirección del eje de la Línea de Transmisión, siendo según los planos de montaje, la Cara Perpendicular de la torre, aquélla que corta la dirección del eje de la línea en forma perpendicular y la Cara Paralela, aquélla que es paralela al eje de la línea..
- 4.- Chequear antes de salir al campo y también durante el montaje, el estado de la pluma de montaje, winche con su cable piloto, poleas, aparejos, sogas (para hacer vientos), etc. y demás elementos que sufren desgaste.
- 5.- Las sujetaciones de la pluma, colocación de vientos, amarres de componentes (para sus alzamientos)

tos), deben hacerse con mucha seguridad y con personal de experiencia dirigidos por el capataz para evitar cualquier accidente durante el montaje.

- 6.- Es preferible que el winche se ubique a unos 15 mts. de la torre, para mejor visión del operador, con la excepción de que en terrenos accidentados la distancia es menor debido a la irregularidad de la forma del terreno. El winche debe anclarse perfectamente en el suelo para evitar que el tiro de alzamiento de los perfiles, levante al winche provocando accidentes lamentables.
- 7.- El operador del winche debe tener mucha experiencia de tal manera que los alzamientos de los perfiles se realicen en forma lenta y sin tirones y no lo debe exceder al winche en su capacidad de fuerza de tracción.
- 8.- Durante las maniobras de alzamientos de perfiles y Ménsulas armadas, usar vientos para controlar su vaivén y evitar que éstos se choquen con los ya instalados, evitando, de esta manera, raspaduras en las superficies galvanizadas.
- 9.- Las tuercas después de ajustarse deben ser bloqueadas mediante la colocación de contratuercas.

De no haber contratuercas, los pernos seran punzonados.

10.-No situarse nunca debajo de los perfiles que están en alzamiento.

11.-Las piezas serán ensambladas cuidando de no someterlas a esfuerzos excesivos o golpes que pudieran dañarlas.

12.-El montaje de torres próximos a líneas eléctricas energizadas, debe ser efectuado con mucho cuidado y dirigido por el capataz de montaje e ingeniero de obra, manteniéndose ambos en el lugar de trabajo, orientando a los montadores de modo de garantizar que los perfiles en alzamiento y los vientos que controlan estos alzamientos, serán mantenidos a distancia. En los cortes de líneas energizadas cercanas, los vientos que controlan los alzamientos no deben chocar con la línea cercana, para evitar daños del viento y de la línea.

#### 8.- Revisión de torres

Después de haberse concluido completamente el montaje de un cierto número de torres y, de acuerdo a

un "Programa de Trabajo Mensual Preventivo", se envía una o más "Cuadrillas de Revisión de Torres", cuya función será asegurarse que todos los pernos de las torres se encuentren perfectamente ajustados mediante un ajuste final de éstos (con comprobación de torquímetro), aplicándole el torque que se indican en los planos de montaje. Ver tabla N°4.3 en el anexo N°4, donde se indican los torques aplicables a los pernos, según su diámetro. Los pernos serán ajustados por medio de llaves hexagonales, para evitar daños en el galvanizado de los pernos.

La cuadrilla también debe revisar, cuidadosamente, el estado de las superficies del galvanizado, efectuando reparaciones del galvanizado, si los hay, pintándolo con pintura de zinc. Además, debe revisarse si faltan perfiles como los rompetramos, planchas de relleno, espesores, etc. y luego, las observaciones de los elementos faltantes serán anotados en las tablas de control, para informar al departamento de logística, que será el encargado de ver su reposición con perfiles originales o con perfiles fabricados después de revisar su control de perfiles originales de ese proyecto.

#### **9.- Instalación de cadenas de aisladores**

Para esta actividad, previamente, se realiza la

inspección y limpieza de los aisladores y antes de la instalación de la Cadena de Aisladores, debe ser revisada su ensamble por el **capataz** (de la cuadrilla), para garantizar una buena instalación, porque estas **son** los soportes aislantes de los conductores de la Línea de Transmisión, que van a estar sujetos a las diversas cargas del conductor y cargas de montaje debido al Tendido de los Conductores de la Línea de Transmisión.

### 9.1 Inspección

Antes del transporte de las Cadenas de Aisladores, a su lugar de instalación se realiza una inspección cuidadosa de los aisladores y de todos los accesorios que conforman las cadenas, de manera que sólo el material en perfectas condiciones sea empleado para la constitución de las cadenas.

Si durante el curso de la inspección se detecta cualquier defecto en los aisladores, como las agrietaduras, astillamientos, pasadores de seguridad sueltos o doblados o que los accesorios metálicos de la cadena presenten rajaduras, etc., éstos son separados y marcados de manera indeleble y luego reemplazados.

Con mucha anticipación, antes de empezar esta actividad de "Instalación de Cadenas de Aisladores", se debe realizar un inventario del total de cadenas de aisladores recibidos y comparar con el total de cadenas de aisladores a instalarse, según proyecto, para que de esta manera, concluir si faltan o sobran cadenas. En el caso que falten cadenas, se debe coordinar con la empresa propietaria de la línea para la rápida adquisición de las cadenas faltantes.

### **9.2 Manipulación y limpieza**

Los aisladores son manipulados cuidadosamente durante el transporte (en sus respectivas cajas de embalajes) y durante el ensamble y montaje.

Antes de proceder al ensamblado de las cadenas de aisladores, al costado de la torre se hace una limpieza de todos los aisladores y de los elementos metálicos que componen las cadenas, de tal manera que queden libres de polvo y de los materiales de embalaje. Se usa para la limpieza, trapos y desprovistos de cualquier material abrasivo.

### **9.3 Instalación de cadenas de aisladores**

Las "Cadenas de Aisladores de Suspensión" son

ensambladas en el suelo (sobre maderas) en el lugar de ubicación de la torre, comprobando el capataz que todos los pasadores de seguridad hayan sido colocados correctamente y, de igual manera, que todos los elementos de fijación estén en la correcta posición, según el plano de ensamble.

Para efectuar el alzamiento, la cadena de aisladores es previamente amarradas con una soga debajo del segundo aislador respecto de la parte superior de la cadena, para tener facilidad de su instalación hacia la ménsula.

El alzamiento de las cadenas de suspensión hacia las Ménsulas de la Torre de Suspensión es dirigido por un capataz y se realiza por medio de pastecas y soga piloto, siendo accionado el alzamiento por personas y controlado desde el suelo por medio de un viento maniobrado por una persona para evitar que la cadena choque con la estructura de la torre, manteniéndose constantemente vertical hasta la altura de su instalación (en el extremo de la ménsula), donde un montador ubicado en la ménsula, colocará el estribo de la cadena (grillete en "U") en la plancha soporte sujeta en la ménsula.

Instalada la cadena, los pasadores de seguridad deben estar mirando hacia la torre para poder ve-

rificar que han sido abiertos.

Las "Cadenas de Aisladores de Anclaje" son instaladas en las torres de ángulo, torres terminales y torres de transposición, en la etapa de la "Regulación de Conductores" de la Línea de Transmisión

## CAPITULO V

### TENDIDO Y REGULACION DE LOS CONDUCTORES

#### 1.- Resumen

En este capítulo, de acuerdo a experiencia recogida del campo del graduando, se describen las fases del "Tendido del Conductor" comprendiendo desde la preparación del Programa de Tendido, hasta la Regulación de los Conductores, incluyendo unas series de recomendaciones importantes que se deben considerar en el Tendido y Regulación de los conductores para su mejor seguridad y control en el momento de sus ejecuciones.

En lo referente al Tendido de Conductores, se da a conocer las características del tendido y para su ejecución se indica la utilización del "Método de Frenado Mecánico", que favorece el tendido en lugares inaccesibles y cruces de obstáculos en general.

Para la Regulación de la Flecha de los conductores, se está considerando el incremento de la flecha por el

"EFECTO CREEP", que es un fenómeno irreversible.

## 2.- Fases principales del tendido de conductores

Los Tendidos de Conductores, en Líneas de Transmisión, tienen las siguientes fases principales:

- 1.- Preparación del Programa de Tendido.
- 2.- Tendido de los Conductores.
- 3.- Regulación de Conductores.

### 2.1 Preparación del programa de tendido

Se realiza la programación del Tendido de Conductores, con el fin de que los trabajos de campo puedan ser conducidos con suficiente coordinación, precisión y seguridad y, para ésto, se tienen las siguientes consideraciones:

- 1.- Se determinan los tramos de tendido, haciendo un recorrido físico de toda la línea, para prevenirse de los problemas de la configuración de los terrenos, para determinar la longitud del tramo de tendido, para saber los cruces de la línea y para determinar las ubicaciones de las máquinas de tendido, winche y freno.

- 2.- tiene en cuenta las ubicaciones adecuadas de los equipos de tendido, winche y freno, de tal manera que no se ubiquen muy cerca de la torre. Estos equipos deben ubicarse a una distancia horizontal mayor de tres veces la altura de la polea de tendido (roldana) ubicada en la ménsula mas alta de la torre cercana a cada equipo de tendido, para evitar esfuerzos excesivos en las ménsulas de las torres. esta recomendación se ha extraído de los fabricantes de torres.

La altura de la polea más alta es medida respecto de la cota vertical del lugar de ubicación de los equipos winche y freno.

- 3.- Se realiza, previamente, una descripción de los rios, terrenos de cultivo, carreteras, avenidas, etc. Es importante tener sus características para ver el grado de dificultad en el momento del tendido de los conductores y prevenirse de las medidas de seguridad.
- 4.- Analizar la posibilidad de hacer caminos de acceso para el transporte de los equipos winche, freno, bobinas de conductores, personal, etc.

- 5.- programa la distribución de las bobinas en en las fases del conductor y cable de guarda (si los hay), ya sea de una o de dos ternas de conductor (de acuerdo al proyecto que se tiene), según las longitudes de los tramos de tendido.
- 6.- En los tramos de tendido de conductores, donde hay cruce de líneas eléctricas, es indispensable prever la fecha del tramo de tendido y, para ésto, se necesita de la coordinación y autorización de las Entidades respectivas que son dueñas de las líneas eléctricas de cruce, para el corte de energía en éstas.
- 7.- Se analizan los tramos de tendido donde el terreno es muy desnivelado, analizando la posibilidad de colocar poleas de contratiro, para evitar en el momento del tendido, daños en la cadena de aisladores de suspensión.
- 8.- En la programación del tendido se tiene en cuenta que los empalmes no se acerquen mucho a la torre, prefiriéndose ubicarlos en medio vano

## 2.2 Tendido de los conductores

El Tendido de los Conductores consiste en rea-

lizar las operaciones técnicas de tendido, para instalarlos en buenas condiciones en las torres, siendo, estos conductores, sujetos por las cadenas de aisladores, a través de las poleas de montaje (roldanas).

### **2.2.1 Método utilizado**

El Tendido de los Conductores en Líneas de Transmisión se ejecuta utilizando el "Método de Frenado Mecánico", que es efectuado por tracciones mecánicas, desplazándose el conductor sobre poleas (roldanas), utilizando el winche como elemento de tracción y el freno como elemento regulador de la posición del conductor, para evitar que éste choque con el suelo o se tense demasiado.

Con este método se evita el raspado superficial de los conductores con el terreno y con los obstáculos en general, a fin de pasarlo sin dañarlo, requiriéndose, para ésto, de personal eficiente y de mucha experiencia.

### **2.2.2 Características del tendido de conductores**

Las características del Tendido de Conductores, empleando el Método de Frenado

Mecánico, son las siguientes:

- 1.- La programación del trabajo es seguido un ingeniero residente con experiencia, capaz de adecuarse a las diversas exigencias técnicas que requiere el tendido.
- 2.- El supervisor técnico, capataces y linieros tienen una gran experiencia y una preparación técnica adecuada para sus respectivas tareas asignadas en el tendido.
- 3.- Es posible hacer el tendido jalando tramos con longitudes promedios de 5.5 Kms., permitiéndose el pasaje del conductor por extensas zonas de cultivo, zonas arenosas, rocosas, centros poblados, dándose una mayor dispersión del personal, mateniéndose una comunicación constante por radio transmisores para mejor coordinación durante la ejecución del tendido.
- 4.- El tendido del conductor se hace sobre poleas, de esta manera la integridad del conductor es fácilmente salvaguardada

porque vienen traccionados con un tiro efectuado por el winche y sujeto constantemente bajo una tensión regulable por el freno, evitando que el conductor choque en el suelo o se tense demasiado.

5.- El tendido del conductor se hace sobre poleas, de esta manera, la integridad del conductor es fácilmente salvaguardada, porque además vienen dirigidos con un tiro regulado por el winche y sujeto constantemente bajo una tensión regulable por el freno, evitando que el conductor, choque en el suelo o se tense demasiado.

6.- La posición del conductor es controlada eficientemente durante el tendido por medio de los dinamómetros del winche y freno, cuyos operadores son guiados por las informaciones que reciben por los radios transmisores de los "hombres intermedios", (personal que avisa sobre la posición del conductor, respecto del suelo o cualquier obstáculo) que se encuentran distribuidos en los puntos críticos del tramo de tendido.

7.- Existe, durante el tendido, una constante comunicación del ingeniero, supervisor técnico, operadores del winche y freno y de los hombres intermedios, por medio de radios transmisores.

8.- Los daños a los cultivos es sólo por el "cable piloto" (cordina), porque el conductor pasa por alto y sobre poleas.

9.- Favorece el cruce por zonas pobladas, pistas, trochas, zonas accidentadas, ríos, etc., puesto que el acercamiento del conductor es controlado por los equipos winche y freno, mediante el aviso de los intermedios.

### 2.2.3 Tendido de conductores

La primera parte ejecutiva del Tendido de Conductores, lo constituye el tendido del "Cable Piloto" (cordina) sobre las roldanas, las que son previamente colocadas en todas las torres del tramo de tendido.

ejecuta el tendido del cable piloto en las tres fases de una o dos ternas de conductores (también de los cables de guarda, si los hay), según el proyecto de

la Línea de Transmisión. Este tendido es ejecutado por medio de un tractor que jala a estos cables con la ayuda de sogas, para hacer posible el levantamiento de estos hacia las roldanas en cada torre del tramo de tendido. En los casos de terrenos accidentados donde no hay acceso, el tendido se efectúa siendo jalado por medio de grupos de hombres. En la figura NO 5.1 en el anexo NO 5, se muestra el tendido del cable piloto en forma esquemática y con sus elementos que se requiere para su ejecución y realizándose en una zona de difícil topografía.

Terminado el tendido del cable piloto y estando ya ubicados los equipos de tendido winche y freno en sus lugares respectivos, se establece una comunicación por radios transmisores del ingeniero de obra con el capataz, operadores de winche y freno y los hombres intermedios, para poner en operación el winche, procediéndose a levantar el cable piloto de la fase mas alta del conductor (o cable de guarda, si lo hay), según proyecto, estando el freno en el otro extremo, sujetando el cable piloto. Estando ya operando el winche, su

operador estará atento a cualquier aviso de los hombres intermedios, sobre cualquier obstáculo que impida al cable piloto ser levantado, ejecutándose este levantamiento hasta que el cable piloto quede aproximadamente a 3 mts. del suelo del lugar más desfavorable del tramo de tendido.

Habiéndose levantado uno o dos cables pilotos, según la capacidad de los equipos de tendido (winche y freno), se procede a unir el cable piloto con el conductor, por medio de la "Media Puntera" que es un elemento que trabaja a tracción al jalar al conductor.

Luego, se efectuará el tendido del conductor, utilizándose el "Método de Frenado Mecánico" manteniéndose una comunicación constante por medio de radios transmisores, de tal manera de poner en operación el winche y freno en forma simultánea, procediéndose al tendido del conductor sobre las poleas de tendido (roldanas), actuando el Winche como elemento de jalado y el Freno como regulador del conductor cuando sea preciso, con el objetivo de que el conductor no toque el

suelo y no se tense demasiado. En la figura N05.2 en el anexo N05, se muestra el tendido del conductor, utilizando el "Método de Frenado Mecánico".

La comunicación de los operadores del winche, freno y de los "Hombres Intermedios" es de mucha importancia durante todo el tiempo que dura el proceso del tramo de tendido, para estar alerta de cualquier aviso que informen los hombres intermedios respecto del acercamiento del conductor a cualquier obstáculo dentro del tramo de tendido, como también, el cuidado que ellos tienen de los cruces de carreteras, ríos, líneas eléctricas, terrenos de cultivo, centros poblados, etc.

Terminado el tendido del conductor y cable guarda (si los hay), se procede a anclarlos en el suelo en ambos extremos del tramo de tendido, por medio de "anclajes", previamente instalados, los cuales serán, después, empalmados y levantados según el avance de la cuadrilla de empalmadores y cuando el tendido del conductor se encuentre en otro tramo.

#### 2.2.4 Recomendaciones generales para el tendido de conductores

Para dar eficiencia y seguridad al proceso de Tendido del Conductor en Líneas de Transmisión, el graduando, de acuerdo a experiencia de obra, enlista las siguientes recomendaciones:

- 1.- Se deben tomar las precauciones debidas para evitar que los conductores sufran daños, de cualquier naturaleza, durante el transporte, almacenamiento y durante su tendido, puesto que cualquier daño que altere la superficie de los conductores, perjudica el uso de éstos.
- 2.- El conductor siempre debe ser traccionado de la bobina (carrete de embalaje), en tal sentido que el cable siempre se desenrolle de arriba hacia abajo y en sentido de la flecha indicada en la bobina, por el fabricante.
- 3.- El desbobinado de los conductores se hace evitando todo contacto de éstos con el terreno.

- 4.- El winche debe hacer los cambios de tracción, en forma lenta, sin ninguna brusquedad para evitar oscilaciones en el cable.
- 5.- El freno debe aplicar la tensión de frenado, cuidadosamente, de tal forma de asegurar que el conductor no sufra tirones, siendo la tensión regulada por este equipo.
- 6.- Se debe tener durante todo el tiempo que dura el tendido del conductor, una comunicación permanente por medio de radios transmisores entre los operadores del winche y freno, los hombres intermedios, supervisor técnico general, así también, del ingeniero de obra para tener un tendido eficiente y seguro.
- 7.- Todas las poleas de tendido (roldanas), deben estar en perfectas condiciones de rodamiento y bien engrasadas.
- 8.- En los eventuales desperfectos que tienen los conductores, se recomienda el uso de manguitos de reparación, cuando

máximo dos hilos en la capa externa estén rotos y no exista algún hilo roto en las capas internas, según recomendaciones de los proyectos de Líneas de Transmisión de Alta Tensión.

9.- En los casos donde el Tendido del Conductor se realiza en lugares donde hay cruces de líneas eléctricas, carreteras, terrenos de cultivo, avenidas, etc., los trabajos se realizan con la debida seguridad, utilizando implementos que permitan protección del conductor y una adecuada señalización, como carteles de peligro, pórticos, etc.

10.-No se hacen empalmes en vanos adyacentes tampoco se permite más de un empalme por conductor en un mismo vano. De la misma manera, no se hacen empalmes en vanos que cruzan líneas eléctricas, ríos, carreteras, edificios y casas, etc.; según recomendaciones de los proyectos de Líneas de Transmisión de Alta Tensión.

11.-Probar la efectividad de sujeción de

las "Medias Punteras" (elemento que une el cable piloto con el conductor) y "Medias Dobles" (elemento que unen los conductores), antes de empezar la etapa del Tendido de Conductores.

- 12.-Chequear si hay alguna rotura de los hilos del cable piloto (cordina), antes de enviarlos al campo y después de cada tramo de tendido.

### 2.3 Regulación de conductores

Se entiende por "Regulación de los Conductores" a la ejecución de todas las operaciones necesarias para llegar a las flechas y tiro adecuado del conductor, según los datos previstos en la Tabla de Regulación de Conductores.

La regulación viene seguida mediante la preventiva determinación de los tiros y flechas de los vanos que están comprendidos entre torres de ángulo. Esta regulación se lleva a cabo, de manera que las tensiones y flechas resultantes no sean sobrepasadas para las correspondientes condiciones de carga, de tal manera que la componente horizontal de la tensión " $T_0$ " resulte uniforme en todo el tramo de regulación y que las

cadenas de suspensión sean verticales en todas las torres de suspensión.

### 2.3.1 Regulación de las flechas de los conductores ~~considerando el "EFECTO CREEP"~~.

La ejecución de la regulación de las flechas de los conductores se hace entre estructuras de ángulo y, para ésto, se realiza previamente el empalme del conductor con la grapa de compresión de anclaje de la torre de ángulo, ubicada en el extremo inicial del tramo de regulación. Luego del otro extremo final, desde la torre de ángulo se tense gradualmente el conductor, usándose el "Método por Visualización Directa" o el "Método por Visualización con Saeta", hasta llegar a la flecha necesaria de acuerdo a la temperatura que tenga el conductor en el momento de la regulación, estando incluido el incremento de la flecha por el "EFECTO CREEP", producido en el conductor, como una diferencia de temperatura equivalente a la deformación. Para el cálculo del "EFECTO CREEP", se utilizan las ecuaciones de HARVEY y LARSON, que son las siguientes:

A) Para conductores ACAR y Aleación de Aluminio:

$$\Delta\theta = \frac{K}{\alpha} \theta^{\beta} \sigma^{\tau} t^{\mu} \times 10^{-6}$$

B) Para conductores ACSR

$$\Delta\theta = \frac{K}{\alpha} \left[ \frac{100 \sigma}{\sigma_{RUP}} \right]^{\tau} \theta^{\beta} t^{\mu} \times 10^{-6}$$

Donde:

$\Delta\theta$  = Incremento de temperatura equivalente al "EFECTO CREEP", en °C.

$\theta$  = Temperatura del Every Days, en °C.

$\sigma$  = Esfuerzo del conductor por la Tensión Every Days en Kg/mm<sup>2</sup>.

$\sigma_{RUP}$  = Esfuerzo del conductor por el tiro de rotura del conductor, en Kg/mm<sup>2</sup>.

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación lineal del conductor en °C<sup>-1</sup>.

$t$  =Tiempo en horas, transcurrido entre el tendido hasta el instante en que se flecha.

Los parámetros  $\tau$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  y  $K$  son constantes que da el fabricante de conductores y que dependen de las características de los procesos de fabricación y tipo de conductor. Ver tabla Nº 5.1.

En los cálculos de flechado en la tabla de regulación, debe considerarse el "EFECTO CREEP", como una diferencia de temperatura equivalente a la deformación final de 25 años, cuando el cable está prácticamente estabilizado.

Luego, para flechar los vanos de control elegidos del tramo de regulación (entre torres de ángulo) se ejecutará con la temperatura del instante del tiempo en que se flecha, más el incremento de temperatura por el EFECTO CREEP.

CONDUCTOR	CONSTANTES			
	K	$\beta$	$\tau$	$\mu$
- ACAR	0.15	1.4	1.3	0.16
- ACSR				
. CURLEW	1.4	0	1.3	0.16
. PHEASANT	1.4	0	1.3	0.16

TABLA Nº 5.1.- Constantes que dependen de las Características de los procesos de fabricación y tipo de conductor.

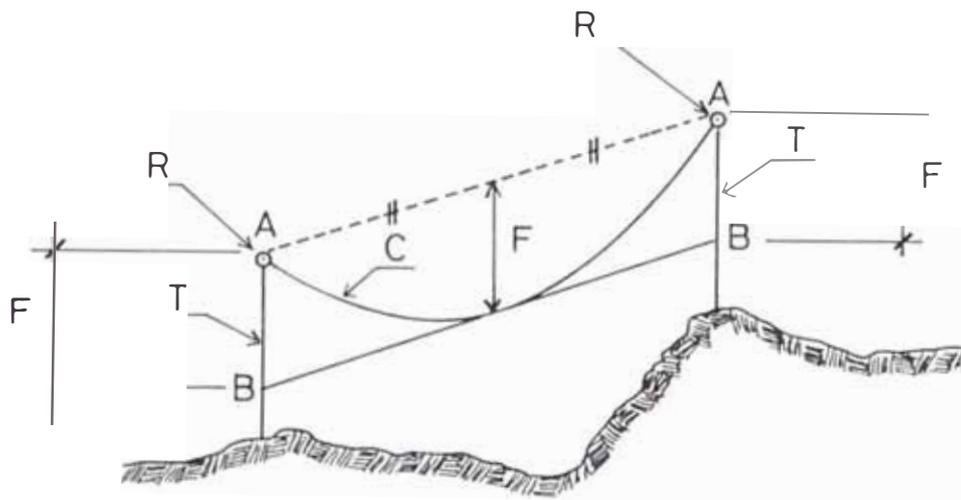
### 2.3.2 Métodos utilizados para la regulación de las flechas de los conductores

Para la regulación de las flechas de los conductores se utilizan los siguientes métodos:

- A) Método por Visualización Directa.
- B) Método por Visualización con Saeta.

#### A) MÉTODO POR VISUALIZACIÓN DIRECTA

Este método permite la medición directa de la flecha del vano de control, elegido entre torre y torre, con la ayuda del teodolito. Este método está representado en la figura Nº 5.3, donde se puede observar que se mide desde el punto de suspensión del conductor (punto A), hacia



### LEYENDA

- F = FLECHA DEL CONDUCTOR
- C = CONDUCTOR
- R = ROLDANA
- T = TORRE
- A y B = PUNTOS PARA LA MEDICION DE LA FLECHA "F"

FIGURA Nº 5.3

DETERMINACION DE LA FLECHA ("F")  
DE LOS CONDUCTORES POR EL METODO  
DE VISUALIZACION DIRECTA

abajo, la flecha que corresponde en las dos torres contiguas, esta flecha se marca en las montantes de las dos torres con una señal "B". Luego, durante el tensado del conductor se dirige una visual con la ayuda del teodolito desde una de las torres, hasta que el punto mas bajo del conductor quede en la línea de mira B-B, determinándose la flecha del vano de control elegido, según la temperatura en el momento que se mide la flecha, más el incremento de temperatura por EFECTO CREEP, obteniéndose la flecha de acuerdo a los datos de la Tabla de Regulación.

La Tabla de Regulación es una tabla previamente calculada, donde se encuentran todos los valores necesarios para realizar el regulado de conductores.

#### **B) METODO POR VISUALIZACION CON SAETA**

Este método se utiliza cuando la naturaleza del terreno y la altura de las estructuras, con relación a la flecha a medir, no permite la medición directa, siendo imposible dar la flecha con el método anterior.

Este método se representa en la figura N°5.4, donde se mide visualmente la SAETA "S" del conductor del vano de control elegido. Para ésto, el topógrafo determina los lugares apropiados para la instalación del teodolito, que puede ser en la montante de la torre o en el terreno, según se presente el caso, de tal manera que se pueda permitir una visual, tangente y horizontal al punto más bajo del conductor (el punto "B"), dando la SAETA correcta.

Previamente a este trabajo de campo, se calcula la SAETA en el vano de control elegido, usándose la fórmula de la flecha reducida siguiente:

$$S = c \left[ \cos h \left( \frac{x}{c} \right) - 1 \right]$$

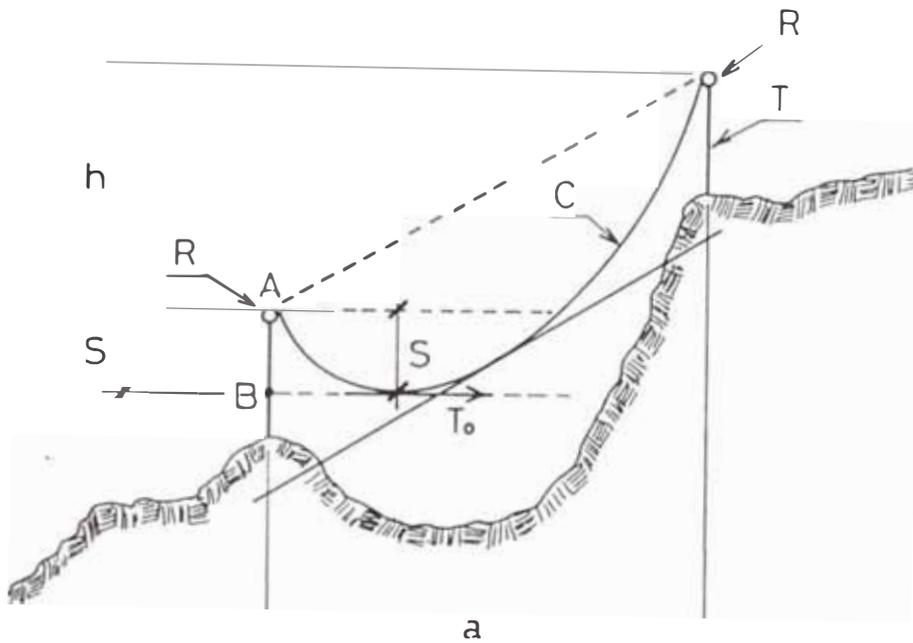
Donde:

$$c = \frac{T_o}{P} , \quad x = \frac{a^2 - 2hc}{2a}$$

Siendo:

$$S = Saeta$$

$$T_o = Tiro horizontal (KG.)$$



### LEYENDA

- S = SAETA
- $T_0$  = TIRO HORIZONTAL (KG)
- C = CONDUCTOR
- a = VANO REAL
- h = DESNIVEL VERTICAL ENTRE LOS PUNTOS MAS ALTOS DE LA CATENARIA DEL CABLE (ROLDANAS)
- A y B = PUNTOS PARA MEDIR LA SAETA "S"
- T = TORRE
- R = ROLDANA

FIGURA Nº 5.4

DETERMINACION DE LA SAETA "S" DE LOS CONDUCTORES POR EL METODO DE VISUALIZACION CON SAETA

$P$  = Peso unitario del cable (KG/mts)  
= Vano real (mts)  
 $h$  = Desnivel vertical entre los puntos  
más altos de la catenaria del cable

Ver la figura Nº 5.4.

### 2.3.3 Recomendaciones generales para la regulación de las flechas de los conductores

Para la regulación de las flechas de los conductores, se tienen las siguientes recomendaciones:

- 1.- Las flechas de los conductores deben ser controladas en dos vanos por cada tramo de regulación, estos vanos estarán suficientemente lejos, uno del otro. Asimismo, la longitud de estos vanos debe ser, aproximadamente, cercana al promedio de los vanos del tramo de regulación.
- 2.- La regulación de los conductores se efectúa en horas en que la velocidad del viento sea nula o muy baja: También, deberá evitarse que esta regulación se determine en horas en que las variaciones de temperatura sean rápidas.

- 3.- Se deberá tener en consideración al momento del control de la flecha, el tiempo entre la operación del tendido y la del flechado, para dar las correcciones que sean necesarias del incremento de flecha debido al "EFECTO CREEP".
- 4.- Es necesaria una comunicación constante, por medio de radios transmisores durante la ejecución de la regulación de los conductores, entre los capataces de la cuadrilla que tensa el conductor y la cuadrilla que controla la flecha, como también, del ingeniero de obra, puesto que un exceso de tensado disminuye la seguridad de la estabilidad de la línea.
- 5.- La tolerancia en la flecha real, con relación a la flecha teórica (incluyendo el EFECTO CREEP) será del 2%, considerando la tolerancia para cada conductor independiente. Además, la flecha real no debe diferir en más de 50 cms. de la flecha teórica, según los proyectos de Líneas de Transmisión.

#### 2.3.4 Regulación de las cadenas de aisladores de de suspensión

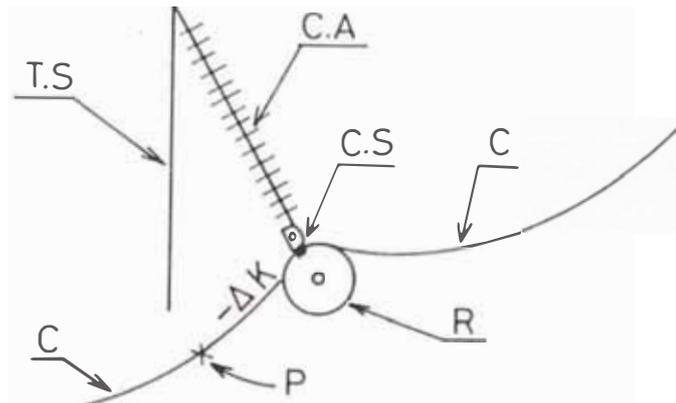
La "Regulación de las Cadenas de Aisladores de Suspensión" consiste en ponerlos en posición vertical y, ésto, se logra igualando las fuerzas horizontales longitudinalmente en todos los vanos del tramo de regulación, mediante la ubicación adecuada de cada grapa de suspensión.

Para la ejecución de la regulación de las cadenas de aisladores de suspensión se realiza, de acuerdo a la "Tabla de Regulación", oportunamente elaborada, conteniendo esta tabla, las distancias de engrapado " $\Delta K$ " para dar la posición de la grapa de suspensión en el conductor y que es medida a partir del punto tangente superior del conductor a la polea de tendido (roldana), ver figura N°5.5.

Las distancias " $\Delta K$ " positivas indican la colocación de la grapa de suspensión **hacia** adelante de la polea y las negativas indican hacia atrás de la polea.

**ENTORCHE:** Tan pronto como se haya marcado las distancias de engrapado " $\Delta K$ " en el con-

## PROGRESION DE LA LINEA



### LEYENDA :

- $\Delta K$  = DISTANCIA DE ENGRAMPADO
- R = ROLDANA ( POLEA )
- C.S = PUNTO TANGENTE SUPERIOR DEL CONDUCTOR A LA ROLDANA
- P = PUNTO DE COLOCACION DEL CENTRO DE LA GRAPA DE SUSPENSION
- C.A = CADENA DE AISLADORES DE SUSPENSION
- C = CONDUCTOR
- T.S = TORRE DE SUSPENSION

FIGURA N° 5.5

REGULACION DE LAS CADENAS DE AISLADORES DE SUSPENSION

ductor, se levanta el conductor de las poleas y se colocan las varillas de armar (preformadas), cuyo centro de éstas, está marcado y deberá coincidir con el punto marcado en el conductor para la colocación del centro de la grapa de suspensión.

**ENGRAPADO** Luego, se procede a la fijación del conductor en la grapa de suspensión (que es sostenida en la cadena de aisladores de suspensión), verificando que el centro de la preformada coincida con el centro de la grapa de suspensión, con el fin de evitar desalineamiento.

Terminando de instalar todas las grapas de suspensión del tramo de regulación, las cadenas de aisladores quedan verticales, lográndose que las tensiones horizontales sean iguales.

Tan pronto el conductor se haya quedado engrapado, se instalan los amortiguadores en el conductor, cuyo objetivo, de fijación, es para actuar contra la vibración del conductor. La cantidad de éstos, depende de la distancia del vano real en que se ubiquen y según diseño de cada proyecto de Líneas de

## Transmisión de 220 Kv.

### 3.- Inspección final de las líneas de transmisión acabadas

La inspección final de las Líneas de Transmisión de 220 Kv. se realiza en cada torre y a lo largo de toda la línea. Está conformada por una comisión que tiene representantes de la firma supervisora y un representante de la compañía contratista. Las inspecciones que se consideran son las siguientes:

A.- Inspección de cada torre.

B.- Inspección de las líneas.

#### A.- Inspección de cada torre

En cada torre se verificará:

- 1.- Que el relleno y compactado, el nivelado de terreno alrededor de las fundaciones, la dispersión de la tierra sobrante estén ejecutados.
- 2.- Que las partes de la fundación de concreto que sobresalen del nivel del suelo estén apropiadamente formadas y terminadas.
- 3.- Que la puesta a tierra esté apropiadamente instalada, conforme a las indicaciones del plano.

- 4.- Que las torres estén correctamente montadas con todos sus perfiles completos, que estén rectos, limpios y sin daños.
- 5.- Que los pernos y tuercas estén ajustados con arandelas y contratuercas, de acuerdo a los torques que indique el proyecto.
- 6.- Que los accesorios de las torres estén fijados **incluyendo** los ensambles de placas, antiescalamientos.
- 7.- Que las rayaduras u otros daños al galvanizado estén reparados con pintura galvanizada de zinc.
- 8.- Que la estructura de las torres esté libre de cualquier cuerpo extraño.
- 9.- Que las cadenas de aisladores estén libres de materias extraños y todos los aisladores sin daños; que estén montadas en conformidad con los planos de detalle.
- 10.- Que los accesorios para los conductores y cables de guarda estén montados, de acuerdo con los planos y que estén éstos completos.

- 11.-Que los conductores y cable de guarda estén correctamente engrampados.
- 12.-Que todos los pernos, tuercas y chavetas de seguridad de cada elemento de las cadenas de suspensión y anclaje estén correctamente aseguradas.

#### **B.- Inspección de las líneas**

Se verifica que, a lo largo de toda la línea se cumplan los siguientes requerimientos:

- 1.- Que las distancias mínimas de seguridad del conductor, con los diferentes cruces, sean respetados conforme a las admitidas.
- 2.- Que los conductores estén limpios, sin averías, libres de barro, ramas, alambres, etc.
- 3.- Que las cadenas de suspensión en los tramos no tengan inclinaciones en la dirección de la línea.
- 4.- Que todos los embalajes y materiales sobrantes sean retirados del terreno.
- 5.- Que el despeje de los árboles esté conforme con los requerimientos admitidos.

6.- Que los caminos de acceso estén terminados y en buenas condiciones.

## CAPITULO VI

### PRUEBAS ELECTRICAS EN LINEAS DE TRANSMISION

#### 1.- Generalidades

El presente capítulo reúne las Pruebas Eléctricas más importantes que se realizan en las Líneas de Transmisión de Alta Tensión, después de haber terminado con la inspección final de las líneas.

La medición de los parámetros de las Líneas de Transmisión, en el campo, es la más exacta que los que se obtienen por cálculos teóricos, pero requiere de una mayor movilización de personal, disponibilidad de equipos e instrumentación, coordinaciones para indisponer la línea, etc.

El cálculo de los parámetros mediante el uso de ecuaciones, permite tomar en cuenta las características de la línea y su efecto en los parámetros de la misma. Sin embargo, algunas de estas características de la línea varían a lo largo del recorrido, tales como la resistividad, entonces la selección

de sus valores para el cálculo resulta referencial. Por lo tanto, en esta Tesis se hace notar el grado de aproximación obtenido en las mediciones, mediante el uso de las ecuaciones teóricas con respecto a los valores medidos directamente en el campo y se hace ver la influencia de aquellas características variables con los resultados teóricos obtenidos.

El procedimiento desarrollado para cada una de las mediciones efectuadas, puede observarse en cada una de las pruebas descritas.

Para tener una mayor información real de estas mediciones, se han incluido los valores medidos de las Pruebas Eléctricas que se hicieron en la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan-Independencia, que tiene 216.249 Kms de longitud, ubicada en zona costera, entre la ciudad de Lima y el distrito de Independencia en Pisco, teniendo un acercamiento al mar de 5 a 30 Kms.

## **2.- Prueba para la determinación de la secuencia de fases**

La prueba para la Determinación de la Secuencia de Fases se realiza para demostrar que la posición relativa de los conductores de cada fase corresponden a lo prescrito en el plano de transposiciones del

proyecto de la Línea de Transmisión.

## 2.1 Procedimiento para la prueba

En la prueba, para la Determinación de la Secuencia de Fases, se realiza el siguiente procedimiento:

- 1.- Días antes de empezar con las pruebas, se verifican cada una de las transposiciones de la línea de transmisión, identificándose la correcta posición de los conductores en ambos extremos de la línea de transmisión o del tramo que se quiere verificar, chequeándose en el campo con las placas de secuencia de fases instaladas en las torres.
- 2.- Se realizan las coordinaciones respectivas por radio-transmisores, ubicados cerca de las torres extremas de la línea de transmisión o del tramo de verificación, para hacer los puentes en la posición final del tramo a verificar, de acuerdo al esquema en la figura N<sup>o</sup> 6.1, en el anexo N<sup>o</sup> 6.
- 3.- En el extremo inicial de la línea de transmisión o del tramo de verificación de la línea, entre las dos mismas fases se conecta una

fuentes de corriente continua (2 baterías de 12 voltios).

- 4.- Luego, se le aplica tensión continua al circuito, circulando una corriente en el circuito de prueba, verificando al mismo tiempo que en cada extremidad de la línea, las dos mismas fases son involucradas.
  
- 5.- Después de haber realizado las permutaciones sobre las tres combinaciones posibles de las fases R-S, S-T, y R-T, en el extremo inicial del tramo, según el esquema del circuito de la figura N°6.1 en el anexo N°6, queda probado que la posición relativa de los conductores de cada fase corresponde a lo prescrito, según los planos de transposiciones del proyecto.

### 3.- Pruebas de aislamiento

#### 3.1 Generalidades

En Líneas de Transmisión, la "RESISTENCIA DE AISLAMIENTO" es la resistencia medida entre fase y tierra que ofrece el aislamiento (cadena de aisla-

dores) de la línea de Transmisión a lo largo de toda su longitud o del tramo que se mida. La Resistencia de Aislamiento se mide con un Megóhmetro, con el cual se aplica, para la medición, una tensión continua de 5.000 voltios entre fase y tierra al aislamiento de la línea, resultando una "Corriente de Fuga Transversal" que fluye a través de las cadenas de aisladores de la línea de transmisión y, por lo tanto, según la Ley de Ohm., tenemos la expresión:

$$R_f = \frac{V_m}{I_f}$$

Donde:

$R_f$  - Resistencia de aislamiento medida con el Megóhmetro entre fase y tierra, a lo largo de toda la línea de transmisión o del tramo que se mida. Se expresa en megohms ( $M\Omega$ ).

$V_m$  - Tensión Continua aplicada por el Megóhmetro entre fase y tierra de la línea de transmisión (5,000 voltios)

- Corriente de Fuga Transversal, perdida a través de las cadenas de aisladores de toda la línea de transmisión o del tramo que se mide.

Otro de los parámetros importantes que se tiene que conocer en las Pruebas de Aislamiento es la "CONDUCTANCIA" de la línea de transmisión. Esta "CONDUCTANCIA" es la inversa de la Resistencia de Aislamiento medida entre fase y tierra de toda la línea o de un tramo que se mida. La "CONDUCTANCIA" nunca puede ser cero, porque siempre va a existir una corriente de dispersión que pasa a través de las cadenas de aisladores; puesto que los aisladores no tienen un aislamiento perfecto.

La "CONDUCTANCIA" está expresada por:

$$G_t = \frac{1}{R_t}$$

Donde:

$G_t$  - Conductancia entre fase y tierra de toda la línea de transmisión o del tramo que se mida. Se expresa en SIEMENS o MHOS (  $\mathcal{U}$  ).

$R_t$  - Resistencia de Aislamiento medida con el Megómetro entre fase y tierra de toda la línea de transmisión o del tramo que se mida ( $M\Omega$ ).

Para tener un ejemplo real, se incluye en este capítulo, las mediciones de Aislamiento de la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan e Independencia, las que fueron efectuadas en dos tramos de la línea, porque parte de esta línea fue usada de emergencia para el transporte de energía eléctrica de la línea existente Lima-Pisco 220 Kv., debido a que ciertas torres de esta línea antigua sufrieron daños en sus fundaciones por la crecida del Río Mala.

**EL PRIMER TRAMO DE MEDICION** se realizó entre las torres de ángulo N°1 y N°113, correspondientes a la zona de S.E. San Juan en Lima y San Antonio, respectivamente, haciéndose las coordinaciones y mediciones respectivas al costado de la torre N°1 (cerca de la S.E. de San Juan).

**EL SEGUNDO TRAMO DE MEDICION** se realizó entre las torres de ángulo N°175 y N°488, correspondientes a la zona de Bujama Alta y S.E. Independencia, haciéndose las coordinaciones y mediciones respectivas al costado de la torre N°175.

### **3.2 Procedimiento para la prueba**

Previamente a la ejecución de las Pruebas de Aislamiento, se deben tener en consideración lo

siguiente:

- 1.- Limpieza total de todas las cadenas de aisladores de la línea de transmisión.
- 2.- La línea de transmisión debe estar desconectada de los equipos terminales de las subestaciones extremas de la línea de transmisión.

Durante las pruebas de aislamiento, se realiza el siguiente procedimiento:

- 1.- Hacer las coordinaciones respectivas en ambos extremos de la línea o en ambos extremos del tramo que se mida, mediante los radiotransmisores.
- 2.- Para cada medición, se aplicará con el Megóhmetro una tensión continua de 5,000 voltios en un tiempo no menor de 1 minuto, para lograr la estabilidad del valor de la resistencia de aislamiento.
- 3.- Se mide la resistencia de aislamiento, separadamente, entre cada fase y tierra, según los esquemas que se muestran en la figura N°6.2 en el anexo N°6.

Tal como:

- 1) Entre fase R y tierra (prueba N01).
- 2) Entre fase S y tierra (prueba N02).
- 3) Entre fase T y tierra (prueba N03)

Se confrontan los tres valores medidos que deben ser del mismo orden de magnitud. Ver datos de mediciones en la tabla N06.1.

- 4.- Se mide la resistencia de aislamiento entre fases de la línea de transmisión, según los esquemas que se muestran en la figura N06.3 en el anexo N06.

Tal como:

- 1) Entre fases R y S (prueba N04).
- 2) Entre fases S y T (prueba N05).
- 3) Entre fases T y R (prueba N06).

Se confrontan los tres valores medidos que deben ser del mismo orden de magnitud. Ver datos de mediciones en la tabla N06.1.

### 3.3 Mediciones realizadas en las pruebas de aislamiento

Las Mediciones de Aislamiento realizadas en los dos tramos de la Línea de Transmisión 220 Kv.

San Juan - **Independencia**, se muestran en la tabla N°6.1.

Las condiciones de medición, en cada uno de los tramos medidos, son las siguientes:

#### PRIMER TRAMO DE MEDICION

El primer tramo de medición comprende de torre N°1 (S.E. San Juan en Lima) a torre N°113 (Localidad de San Antonio).

Las condiciones de medición fueron:

- 1.- Lugar de medición: al costado de la torre N°1, cerca de la S.E. de San Juan en Lima.
- 2.- Medición realizada en verano (mes de Marzo).
- 3.- Zona húmeda entre las torres N°1 y N°113.
- 4.- Temperatura:  $-23^{\circ}\text{C}$  cerca de la torre N°1.  
 $-24^{\circ}\text{C}$  cerca de la torre N°113.
- 5.- En este tramo, la línea está alejada unos 5 kms del mar.
- 6.- Número de cadenas de aisladores por fase:

NUMERO DE PRUEBA	C O N E X I O N	RESISTENCIAS DE AISLAMIENTO	
		MEDIDAS	
		PRIMER TRAMO DE MEDICION (T1-T113)	SEGUNDO TRAMO DE MEDICION (T175-T488)
		MΩ	MΩ
1	FASE R y TIERRA	6.5	2.5
2	FASE S y TIERRA	6.5	2.5
3	FASE T y TIERRA	6.5	2.5
	P R O M E D I O	6.5	2.5
4	FASES R y S	13.0	5.0
5	FASES S y T	13.0	5.0
6	FASES T y R	13.0	5.0
	P R O M E D I O	13.0	5.0

TABLA Nº 6.1.- MEDICIONES DE AISLAMIENTO DE LOS DOS TRAMOS DE MEDICION, DE LA LINEA DE TRANSMISION 220 Kv. SAN JUAN - INDEPENDENCIA.

FASE R: 130 cadenas de aisladores.

FASE S: 130 cadenas de aisladores.

FASE T: 131 cadenas de aisladores.

Los aisladores son de vidrio.

7.- Longitud del tramo medido: 49.83 Kms.

#### SEGUNDO TRAMO DE MEDICION

El segundo tramo de medición comprende de torre Nº175 (Localidad de Bujama Alta) a torre Nº488 (S.E. Independencia a 30 Kms de Pisco).

Las condiciones de medición fueron:

- 1.- Lugar de medición: al costado de la torre Nº175 en la localidad de Bujama Alta.
- 2.- Medición realizada en verano (mes de Marzo).
- 3.- Zona poco húmeda entre las torres Nº175 y Nº488.
- 4.- Temperatura:  $-26^{\circ}\text{C}$  cerca de la torre Nº175.  
 $-29^{\circ}\text{C}$  cerca de la torre Nº488.
- 5.- En este tramo, la línea está alejada de 10 a 30 Kms del mar.

6.- Número de cadenas de aisladores por fase:

FASE R: 345 cadenas de aisladores.

FASE S: 346 cadenas de aisladores.

FASE T: 345 cadenas de aisladores.

Los aisladores son de vidrio.

7.- Longitud del tramo medido: 138.76 Kms.

### 3.4 Parámetros obtenidos de las mediciones de resistencia de aislamiento

De las mediciones de Resistencia de Aislamiento obtenidas en el campo, se obtuvieron parámetros cuyos conceptos son los siguientes:

#### RESISTENCIA DE AISLAMIENTO POR CADA CADENA DE AISLADORES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Es la resistencia de aislamiento que ofrece una cadena de aisladores al paso de la corriente de fuga transversal, a través de ella y está expresada por:

$$R_c = n R_t$$

Donde:

$R_c$  = Resistencia de Aislamiento por cada cadena de aisladores de la línea de transmisión y está expresada en megohms.

$n$  =Número de cadenas de aisladores por fase de toda la línea o del tramo que se mida en la línea de transmisión.

$R_t$  =Resistencia de Aislamiento medida con el Megóhmetro entre fase y tierra de toda la línea o del tramo que se mida (M $\Omega$ ).

#### CONDUCTANCIA POR CADA CADENA DE AISLADORES DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

Este parámetro tiene un valor que es igual a la inversa de la Resistencia de aislamiento por cada cadena de aisladores y está expresada por la fórmula siguiente:

$$G_c = \frac{1}{R_c}$$

Donde:

$G_c$  = Conductancia para cada cadena de aisladores de la línea de transmisión y está expresada en SIEMENS

$R_c$  - Resistencia de aislamiento por cada cadena de aisladores de la línea de transmisión y está expresada en Meghoms.

Los valores de los parámetros obtenidos se mues-

tran en tabla N06.2 que corresponde al primer tramo de medición y en la tabla N06.3 correspondiente al segundo tramo de medición de la línea de Transmisión 220 Kv San Juan - Independencia.

#### 4.- Prueba de medición de la resistencia eléctrica en corriente continua de los conductores de fase

Esta prueba consiste en la medida de la resistencia eléctrica en corriente continua de los conductores de fase de la línea de transmisión. Este valor de resistencia en corriente continua es menor que la resistencia en corriente alterna, porque la corriente continua circula por toda la sección transversal del conductor.

##### 4.1 Procedimiento para la prueba

Para esta prueba, se realiza el siguiente procedimiento:

- 1.- Se realizan las coordinaciones iniciales respectivas por medio de radio-transmisores, separándose la línea en sus extremos de los equipos terminales de las sub-estaciones extremas y comunicándose los extremos de la línea desde el inicio hasta el final de la

prueba.

- 2.- Se utiliza el Método Voltímetro-Amperímetro en corriente continua, de acuerdo al esquema de la figura N06.4 en el anexo N06.
- 3.- En el extremo inicial de medición de la línea, entre dos fases previamente coordinadas, se conecta una fuente de corriente continua.
- 4.- En el extremo final de la línea, se conecta entre sí por medio de puentes, los conductores de las tres fases, de acuerdo al esquema de la figura N06.4 en el anexo N06, haciéndose previamente las coordinaciones respectivas en ambos extremos de la línea por medio de radio-transmisores.
- 5.- Se aplica la tensión continua, circulando en el circuito una corriente continua por las dos fases conectadas, midiéndose el voltaje aplicado y la corriente que circula en el circuito, para determinar la medida de la resistencia en corriente continua.
- 6.- Se realiza el mismo procedimiento del paso anterior, en las mediciones entre las fases R-S, S-T y T-R de la línea de transmisión para

obtener tres medidas y poderlas comparar.

#### 4.2 Mediciones realizadas en la prueba

Las mediciones realizadas en toda la longitud de la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan Independencia, se muestran en la **Tabla N06.4**. El extremo inicial de la línea ha sido la S.E. San Juan y el extremo final la S.E. Independencia, siendo la longitud de la línea 216.249 Kms.

En estas mediciones se controlan las medidas de la resistencia de cada fase y deberán ser confrontadas entre ellas, verificándose que la diferencia entre los valores medidos no sean superiores al 3%, ver tabla N06.4.

#### 4.3 Datos de la línea de transmisión en prueba

Los datos característicos de la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan Independencia son los siguientes:

##### 1.- Características del conductor:

- Tipo de material - ACAR (aluminio-Aldrey).
- Formación - 30 x 3.04 mm Al +  
31 x 3.04 mm Aldrey.
- Diámetro exterior: 27.36 mm.

- Radio medio geométrico (RMG)  $0.772 \tau$  (para ACAR de 61 hilos).
- Resistencia eléctrica en corriente continua a  $20^\circ\text{C}$ .  $0.072 \text{ ohm/Km}$ .
- Radio externo del conductor ( $\tau$ ).  $13.665 \text{ mm}$ .

2.- Disposición de los conductores: **vertical**.

- 3.- Separación entre fases  $6.01 \text{ m}$ .
- 4.- Longitud de la línea  $216.249 \text{ Km}$ .
- 5.- Numero de torres  $488$ .
- 6.- Resistividad promedio  $1,900 \text{ ohm-m}$ .

#### 4.4 Valor teórico de la resistencia eléctrica por fase en corriente continua

El valor teórico de la resistencia eléctrica por fase en corriente continua está determinado por la expresión:

$$R = R_0 \times L$$

Donde:

- R<sup>o</sup>** Resistencia unitaria por kilómetro de línea transmisión, con conductor ACAR a 20°C, teniendo un valor de 0.072 ohm/Km.
- L** Longitud total de la línea de transmisión igual a 216.249 Km.
- R** Resistencia por fase en corriente continua de toda la línea de transmisión.

El valor calculado de resistencia eléctrica por fase en corriente continua de toda la línea de transmisión es:

$$R = 15.57 \text{ ohm.}$$

La corriente que circula en el circuito de medición del esquema mostrado en la figura N<sup>o</sup>6.4 en el anexo N<sup>o</sup>6 , está expresado por:

$$I = \frac{V}{2R}$$

Donde:

- V** Fuente continua de 15 voltios
- R** Resistencia por fase de toda la línea igual a 15.57 ohm.

- I Corriente continua que circula en el circuito de medición cuyo valor es de 0.48 ampers.

El rango de medidores a utilizar es:

- Rango del amperímetro : 0 1 amp. c.c.
- Rango del voltímetro : 0 30 vol. c.c.

#### COMPARACION DEL VALOR MEDIDO CON EL VALOR TEORICO

La comparación del valor medido con el valor teórico se muestra en la tabla N°6.5.

Esta prueba tiene la finalidad de controlar los valores medidos con relación al valor teórico, siendo la tolerancia del valor de la resistencia eléctrica de los conductores después del montaje no mayor de 5%, con respecto al valor teórico, según las Normas de Pruebas Eléctricas de Líneas de Transmisión de ELECTROPERU.

#### 5.- Prueba de medición de la impedancia de secuencia positiva

La Impedancia de Secuencia Positiva es lo que aparece en condiciones normales de operación de la Línea de Transmisión, por tanto, es la impedancia que un circuito trifásico simétrico ofrece al flujo de un juego de corrientes trifásicas simétricas y balancea-

das de secuencia de fases positivas.

### 5.1 Procedimiento para la prueba

El procedimiento que se sigue en esta prueba es el siguiente:

- 1.- Se realizan las coordinaciones iniciales entre los dos extremos de la línea por medio de radio transmisores, siguiendo instrucciones del extremo inicial de medición durante el tiempo que dura toda la prueba.
- 2.- En el extremo inicial de medición, se alimenta la línea por medio de una fuente de tensión alterna, acondicionando, también, el sistema de medición en el inicio de la línea, de acuerdo al esquema de la figura N°6.5 en el anexo N°6.
- 3.- En el extremo final de la línea, con la previa coordinación por radio-transmisores (con el extremo inicial de medición), se puentean las tres fases de la línea poniéndose el extremo final en cortocircuito.
- 4.- Se aplica la tensión alterna a los conductores de dos fases, dejándose una fase abierta y

midiéndose la corriente, tensión y el desfase (entre la tensión y la corriente) para determinar la componente resistiva y reactiva de la impedancia de secuencia positiva.

- 5.- Se realizan las mediciones de acuerdo al paso anterior entre las fases R-S, S-T y T-R, dejando siempre una fase abierta, de acuerdo al esquema del circuito de la figura N°6.5 en el anexo N°6.

## 5.2 Mediciones realizadas en la prueba

Las mediciones realizadas en la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan - Independencia, tal como los valores de tensión, corriente, desfase (entre la tensión y corriente) y la determinación del valor de la impedancia de secuencia positiva con sus componentes resistiva y reactiva, se muestran en la tabla N° 6.6.

De los valores promedios mostrados en la tabla N°6.6, se obtiene la Impedancia Promedio Medida de Secuencia Positiva de la Línea de Transmisión, siendo ésta la siguiente:

$$16.12 + j109.9 \quad 111.03 \quad \underline{81.67^\circ} \quad \text{ohm/fase}$$

Donde:

-Impedancia promedio medida:  $Z_1 = 111.03$  ohms  
de secuencia positiva. fase

-Resistencia promedio medida:  $R_1 = 16.12$  ohms  
de secuencia positiva. fase

Reactancia promedio medida:  $X_1 = 109.9$  ohms  
de secuencia positiva fase

-Desfasaje promedio entre  $R_1$  y  $X_1$ :  $\theta = 81.67^\circ$

Estas mediciones se hicieron en toda la longitud de la línea (216.249 Kms), siendo el extremo inicial de medición de la línea, la S.E. de San Juan y el extremo final de medición la S.E. Independencia (en Pisco).

### 5.3 Valor teórico de la impedancia de secuencia positiva por fase de la Línea de Transmisión

El valor teórico de la impedancia de secuencia positiva, por cada kilómetro y fase de la línea de transmisión, está expresado por :

$$Z_1' = R_1' + j X_1'$$

Donde:

$Z_{1'}$  - Impedancia de secuencia positiva por Kilómetro de línea de transmisión (ohm/km).

$R_{1'}$  - Resistencia del conductor por Kilómetro de línea en corriente alterna (secuencia positiva) (ohm/Km).

$X_{1'}$  - Reactancia del conductor por Kilómetro de línea (secuencia positiva)(ohm/Km).

#### RESISTENCIA DEL CONDUCTOR POR KILOMETRO DE LINEA EN CORRIENTE ALTERNA

La resistencia del conductor por Kilómetro de línea de transmisión, en corriente alterna, está expresada por la siguiente fórmula:

$$R_{1'} = R^o (1 + 7.5 f^2 d^4 \times 10^{-7}) \text{ ohm/Km}$$

Para calcular el valor de la resistencia del conductor por Kilómetro de la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan Independencia, tenemos los siguientes datos:

$R^o$  = Resistencia por Kilómetro del: 0.072 ohm/Km  
conductor ACAR - 442 mm<sup>2</sup> en  
corriente continua.

$f$  - Frecuencia · 60 Hz.

$d$  - Diámetro del conductor en · 2.736 cms.  
centímetros.

$R_1'$  = Resistencia del conductor por Kilómetro de  
línea en corriente alterna.

El valor calculado de RESISTENCIA DEL CONDUCTOR  
POR KILOMETRO DE LINEA EN CORRIENTE ALTERNA es:

$$R_1' = 0.083 \text{ ohm/Km.}$$

#### REACTANCIA DEL CONDUCTOR POR KILOMETRO DE LINEA

La reactancia del conductor por Kilómetro de  
Línea de Transmisión está expresado por:

$$X_1' = 2 \pi f L'$$

Donde:

$X_1'$  - Reactancia del conductor por Kilómetro de  
línea de transmisión (ohm/Km).

$f$  = Frecuencia a 60 Hz.

$L'$  = Inductancia del conductor por Kilómetro de  
línea de transmisión (Hy/Km).

### INDUCTANCIA DEL CONDUCTOR POR KILOMETRO DE LINEA

En Líneas de Transmisión, el cálculo de la Inductancia del Conductor por Kilómetro de Línea de Transmisión, depende de la configuración geométrica de los conductores y está expresada por la siguiente fórmula:

$$L' = 2 \times 10^{-4} \ln \left( \frac{DMG}{RMG} \right) \text{ Hy/Km}$$

Siendo:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{R-S} D_{S-T} D_{R-T}}$$

$$RMG = 0.772 r$$

Para la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan Independencia, que en su montaje sólo se ha instalado una sola terna con disposición vertical de los conductores y separados 6.1 mts. uno del otro, se tiene los siguientes datos:

$D_{R-S} = D_{S-T} = 6.05$  mts. y  $D_{R-T} = 12.1$  mts, son distancias entre fases por la disposición vertical de los conductores.

Luego:

DMG - Distancia Media Geométrica 7.622 mts.

r - Radio Externo del Conductor = 13.665 mm.

RMG - Radio Medio Geométrico 0.01055 mts.

El valor calculado de la INDUCTANCIA DEL CONDUCTOR POR KILOMETRO DE LINEA es:

$$L' = 13.165 \times 10^{-4} \text{ Hy/Km.}$$

El valor teórico de la REACTANCIA DEL CONDUCTOR POR KILOMETRO DE LINEA EN SECUENCIA POSITIVA es:

$$X_{1'} = 2 \pi f L' = 0.496 \text{ ohm/Km.}$$

VALOR TEORICO DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA POR KILOMETRO DE LINEA DE TRANSMISION

De acuerdo a los valores calculados de  $R_{1'}$  y  $X_{1'}$ , el valor de la Impedancia de Secuencia Positiva por Kilómetro de la Linea de Transmisión 220 Kv. San Juan e Independencia es:

$$Z_{1'} = 0.083 + j0.496 = 0.503 \angle 80.5^\circ \text{ ohm/Km.}$$

VALOR TEORICO DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA POR FASE DE TODA LA LONGITUD DE LA LINEA DE TRANSMISION

El valor teórico de la Impedancia de Secuencia Positiva por Fase de toda la longitud de la línea de transmisión está dado por:

$$Z_1 = Z_1' \cdot l$$

Para la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan-Independencia se tienen los siguientes datos:

$$Z_1' = 0.083 + j0.496 \text{ ohm/Km.}$$

$$l = 216.249 \text{ Km. de longitud de la línea.}$$

El valor teórico de la IMPEDANCIA DE SECUENCIA POSITIVA POR FASE de toda la longitud de la línea de transmisión es:

$$Z_1 = 17.95 + j107.26 = 108.75 \quad \underline{80.5^\circ} \text{ ohms}$$

Donde:

Impedancia teórica por fase:  $Z_1 = 108.75 \text{ ohm}$   
de la línea en secuencia fase  
positiva.

- Resistencia teórica por fase:  $R_1 = 17.95 \text{ ohm}$   
de la línea en secuencia  
positiva. fase
  
- Reactancia teórica por fase:  $X_1 = 107.26 \text{ ohm}$   
de la línea en secuencia  
positiva fase
  
- Desfasaje teórico entre  $I_a$ :  $\theta = 80.5^\circ$   
tensión y la corriente

#### COMPARACION VALORES MEDIDOS CON VALORES TEORICOS

La comparación de los valores medidos con los valores teóricos, se muestran en la tabla N°6.7.

puede observar en la tabla que el valor promedio medido de la Impedancia de Secuencia Positiva obtenida en la medición es aproximado al valor teórico de la Impedancia de Secuencia Positiva de la línea, puesto que la impedancia depende de la disposición de los conductores entre sí.

#### 6.- Prueba de medición de la impedancia homopolar

La Impedancia Homopolar es conocida, también, como la Impedancia de Secuencia Cero y es la impedancia que un circuito trifásico simétrico ofrece al paso de un juego de corrientes simétricas de secuencia de

fases cero (corrientes de igual magnitud y en fase cada una con las otras en las tres fases). Esta impedancia aparece cuando hay fallas de cortocircuito a tierra en una línea de transmisión.

### 6.1 Procedimiento para la prueba

En la prueba, de la medición de la Impedancia Homopolar, se sigue el siguiente procedimiento:

- 1.- Mediante el uso de radio-transmisores ubicados en los extremos de la línea de transmisión, se realizan las coordinaciones de la medición que han sido previamente estudiadas, siendo la prueba dirigida del extremo inicial de medición (donde se encuentran los equipos de medida), durante el tiempo que dura toda la prueba.
- 2.- Se realiza la desconexión de la línea de transmisión, desde los extremos de los equipos terminales de las sub-estaciones extremas de la línea de transmisión.
- 3.- En el extremo inicial y final de la línea de transmisión se cortocircuitan las tres fases R, S y T, conectándose a tierra el extremo final de la línea y, de igual manera, se co-

necta a tierra el extremo inicial de medición, a través de la fuente de tensión monofásica alterna (transformador monofásico).

- 4.- En el extremo inicial de medición se alimenta al sistema eléctrico de la línea de transmisión, por medio de una fuente monofásica (transformador monofásico) conectado uno de sus extremos a tierra. Luego, se instalan los equipos de medición de acuerdo al esquema del circuito de la figura N°6.6 en el anexo N°6.
  
- 5.- Se aplica la tensión alterna al sistema eléctrico de la línea de transmisión, de acuerdo al esquema del circuito de la figura N°6.6, en el anexo N°6, midiéndose la corriente, tensión y el desfase entre la tensión y la corriente, para evaluar la Componente Resistiva y Reactiva de la Impedancia Homopolar.

El retorno de la corriente se efectúa por tierra y el valor de la Impedancia Homopolar será tres veces la impedancia medida por el voltímetro y amperímetro.

## 6.2 Mediciones realizadas en la prueba

Las mediciones realizadas en la Línea Transmisión 220 Kv. San Juan-Independencia, tales como la tensión, corriente, el desfasaje entre la tensión y corriente, además, la determinación del valor de la Impedancia Homopolar con sus Componentes Resistiva y Reactiva, se muestran en la tabla N°6.8.

La Impedancia Homopolar obtenida de las mediciones de la prueba, según la tabla N°6.8 es la siguiente:

$$Z_0 = 331.5 \quad \underline{77^\circ} \quad 74.6 + j323$$

Donde:

Impedancia Homopolar :  $Z_0 = 331.5$  (ohms).  
Medida.

Componente Homopolar :  $R_0 = 74.6$  (ohms).  
Resistiva obtenida.

Componente Homopolar :  $X_0 = 323$  (ohms)  
Reactiva Obtenida.

Desfasaje entre la tensión y la corriente medida.  $\theta = 77^\circ$

Estas mediciones se hicieron en toda la longitud de la línea (216.249 Kms), estando sólo instalada una terna de la línea de transmisión.

### 6.3 Valor teórico de la impedancia homopolar por fase de la línea de transmisión

El valor teórico de la Impedancia Homopolar ( $Z_0'$ ) por fase y por cada kilómetro, para la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan - Independencia, cuya prueba se realizó teniendo un solo circuito instalado y sin cable de guarda por ser una línea costera está expresado según la ecuación de CARSON'S publicada por la "Estación Central de Ingenieros de la Westinghouse Electric Corporation", teniendo por fórmula la siguiente expresión:

$$Z_0' = R_1' + 0.002964 f + j0.00868 f \log_{10} \left[ \frac{D_e}{\sqrt[3]{(RMG)(DMG)^2}} \right]$$

ohm por fase por Kilómetro.....(6.1)

Donde:

**A) COMPONENTE HOMOPOLAR RESISTIVA POR KILOMETRO DE LINEA**

De la ecuación de Carson's (6.1) la Componente Homopolar Resistiva Teórica por fase y por kilómetro de línea, está expresado por:

$$R_0' = R_1' + 0.002964 f \dots\dots\dots(6.2)$$

Donde:

$R_0'$  - Componente Homopolar Resistiva, por fase y por kilómetro de línea de transmisión (ohms/Km).

$R_1'$  - Resistencia del conductor por fase y por kilómetro de línea en corriente alterna y en secuencia de fases positiva con un valor de 0.083 ohm/Km. según el acápite anterior N°5.3.

$f$  - Frecuencia con valor de 60 Hz

El valor calculado teóricamente de la Componente Homopolar Resistiva es:

$$R_0' = 0.2608 \text{ ohm/Km.}$$

## B) COMPONENTE HOMOPOLAR REACTIVA POR KILOMETRO DE LINEA

De la ecuación de Carson's (6.1), la Componente Homopolar Reactiva Teórica, por fase y por kilómetro de línea, está expresado por:

$$X_0' = 0.0086805 f \log_{10} \left[ \frac{D_e}{\sqrt[3]{(RMG)(DMG)^2}} \right]$$

ohm por fase por kilómetro .....(6.3)

Donde:

$X_0'$  = Componente Homopolar Reactiva Teórica por fase y por kilómetro de línea (ohm/Km).

$f$  = Frecuencia a 60 Hz

$$D_e = 658.37 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \text{ mts} = 3,704.85 \text{ mts.}$$

$\rho$  = Resistividad promedio del suelo a lo largo de toda la línea de transmisión, con un valor considerado de 1.900 ohm-mts.

**RMG** Radio Medio Geométrico del conductor cuyo valor es de 0.01055 mts. según el valor calculado en el acápite (5.3).

**DMG** Distancia Media Geométrica es de 7.622 mts. según el valor calculado en el acápite (5.3).

El valor teórico calculado de la Componente Homopolar Reactiva por fase y por kilómetro de línea es:

$$X_o' = 1.8956 \text{ ohm/Km.}$$

### C) VALOR TEORICO DE LA IMPEDANCIA HOMOPOLAR POR KILOMETRO DE LINEA DE TRANSMISION

De acuerdo a los valores calculados de  $R_o'$  y  $X_o'$ , con las fórmulas (6.2) y (6.3), respectivamente, el valor teórico de la Impedancia Homopolar por fase y por Kilómetro de la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan - Independencia, es:

$$Z_o' = 0.2608 + j1.8956, \text{ ohm/Km.}$$

$$Z_o' = 1.91346 \quad \underline{82.17^\circ} \text{ ohm/Km.} \quad \dots (6.4)$$

D) VALOR TEORICO DE LA IMPEDANCIA HOMOPOLAR POR CADA FASE DE TODA LA LONGITUD DE LA LINEA DE TRANSMISION

El valor teórico de la Impedancia Homopolar por fase de toda la longitud de la Línea de Transmisión está expresada por:

$$Z_o = (Z_o')l$$

Para la línea de transmisión 220 Kv. San Juan - Independencia se tienen los siguientes datos:

1.- Impedancia homopolar por kilómetro de línea, según la expresión (6.4) es:

$$Z_o' = 0.2608 + j1.8956 \text{ ohm/Km.}$$

2.- Longitud total de la línea de transmisión es:

$$l = 216.249 \text{ Kms.}$$

El valor teórico de la IMPEDANCIA HOMOPOLAR POR FASE, de toda la longitud de la Línea de Transmisión 220 Kv. San Juan -Independencia es:

$$Z_o = 56.4 + j409.92 - 413.78 \quad \underline{82.17^\circ} \text{ ohms.}$$

Donde:

- Impedancia Homopolar:  $Z_0 = 413.78$  ohms  
Teórica por fase de  
la línea de transmi-  
sión.
- Componente Homopolar:  $R_0 = 56.4$  ohms  
Resistiva Teórica  
por fase de la línea  
de transmisión.
- Componente Homopolar:  $X_0 = 409.92$  ohms  
Reactiva Teórica por  
fase de la línea de  
transmisión.
- Desfasaje Teórico en:  $\theta = 82.17^\circ$   
tre la tensión y la  
corriente.

#### COMPARACION DE VALORES MEDIDOS CON VALORES TEORICOS DE LA IMPEDANCIA HOMOPOLAR.

La comparación de los valores medidos con los valores teóricos se muestran en la tabla N°6.9.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Se debe tener plena conciencia con la programación y control, mes a mes, de la construcción de la Línea de Transmisión, de acuerdo al "Cronograma de Avance de Obra Contractual", para facilitar la prevención de la mano de obra y de los materiales, y chequear el avance de la obra en el tiempo, de tal manera que en las ejecuciones de las actividades no tener que improvisar soluciones de último momento o desconocimiento de información, los cuales siempre traen problemas que son, generalmente, costosos y que atrazan el avance de la obra.
  
- 2.- Durante la construcción de la Línea de Transmisión, la compañía contratista, supervisora y propietaria de la línea deben tener presente que antes de empezar cada etapa de trabajo se tiene que llegar a solucionar los problemas de "Servidumbre" que ocasionan cada una de estas etapas desde el Replanteo Topográfico hasta el Tendido de los Conductores para evitar pérdidas de tiempo y pérdidas económicas, ya que casi siempre los campesinos afectados por la línea se oponen a la

ejecución de sus etapas de construcción.

- 3.- Los desplazamientos de torres por condiciones topográficas, problemas de suelos, problemas de alturas libres del conductor etc., deben analizarse y ser aprobadas por la supervisión en la etapa del Replanteo Topográfico, de tal manera que en la etapa de Excavación de Fundaciones ya no exista ningún cambio de ubicación de torres.
- 4.- Se debe poner especial interés en la ejecución rápida de los caminos de acceso, para evitar que en las actividades de excavación y también en las restantes etapas, se tengan dificultades para llegar a las zonas de ubicación de torres, produciéndose retrasos en las ejecuciones de las actividades de la obra.
- 5.- Antes de empezar con las etapas de nivelación de base de torres, montaje de torres y el tendido de los conductores, es importante prevenirse de que todo el material utilizable en estas actividades, debe estar en el almacén general debidamente inventariado y saber si falta o sobra el material, para de esta manera tomar decisiones con la compañía supervisora y compañía propietaria, si es que el material estuviera faltando.

- 6.- Las mediciones de resistividad en zonas costeras debe realizarse en épocas de verano y en las zonas de sierra en épocas de estiaje, puesto que en estas épocas los suelos están mayormente secos y sus resistividades son altas, eligiéndose con estos valores la correcta configuración del Sistema de Puesta a Tierra.
- 7.- Es muy importante obtener un rango de valores de resistividad una vez terminadas las mediciones en toda la línea, para acotar los márgenes de resistividades del proyecto de los Sistemas de Puesta a Tierra y así prevenirse con los materiales para la ejecución de estos sistemas.
- 8.- Las Torres de Celosia Autosoportantes de acuerdo a las condiciones requeridas de obra, tienen la facilidad que la parte inferior del "Cuerpo Básico" de cada tipo de torre, puede ser variado por medio de "Extensiones", que varían en  $\pm 3$  metros de diferencia, permitiéndose variar la altura de torre sin necesidad de modificar la "Cabeza Prismática" de las torres, permitiéndose, de esta manera, dar la altura necesaria de las torres, para la ubicación requerida de los conductores según proyecto y según las distancias mínimas de seguridad de los conductores.

9.- La consideración del "EFECTO CREEP" para la regulación de las flechas de los conductores es de gran importancia, porque se previene del estiramiento del conductor, evitándose de esta manera que después de algunos años el conductor se acerque al suelo o al cualquier cruce en general.

\*\*\*\*\*

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Programación PERT-CPM y Control de Proyectos.  
Autores · Ing. Hilario López M.  
                  Ing. Carlos Morán T.  
Fondo Editorial: CAPECO.
  
- 2.- Recomendaciones para el Proceso de Puesta en Obras de Estructuras de Concreto.  
Autor       : Ing. Enrique Riva López.
  
- 3.- Mecánica de Suelos. Tomo I.  
Autores · Eulalio Juárez Badillo.  
                  Alonso Rico Rodríguez.  
Editorial: LIMUSA México.
  
- 4.- Especificaciones Técnicas de Obras Civiles y Electromecánicas de la L.T. 220 Kv, San Juan-Independencia.
  
- 5.- Técnicas de Puesta a Tierra en Sistemas de Potencia.  
Autor       : Dr. Dinkar Mukhedkar.

Editorial: A.E.F.

6.- Instalación, Protección y Mantenimiento en Redes de Distribución.

Seminario Profesional.

Capítulo : Sistemas de Puesta a Tierra.

Autor : Ing. Justo Yanque Montufar.

7.- Norma VDE 0100 de Protección Eléctrica.

Editorial: MARCOMBO.

8.- Código Eléctrico del Perú.

Editorial: A.E.F. Lima, 1975.

9.- Normas de Electro Perú N°343 - 001.

10.- Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Autor : William D. Stevenson.

11.- Redes Eléctricas.

Autor : Zoppeti.

Sexta Edición.

12.- Instalaciones Eléctricas Generales.

Enciclopedia Ceac de Electricidad.

Autor : José Ramírez Vásquez.

Ediciones: Ceac S.A.

- 13.- Líneas de Transporte de Energía.  
Autor : Luis María Checa.  
Editorial: MARCOMBO.
- 14.- Diseño de Líneas de Transmisión Aéreas a Altas Tensiones.  
Autor Ing. Hernán Untiveros Zaldivar.  
Lima, 1985.
- 15.- Esfuerzos Longitudinales y Colapso de Estructuras en Líneas de Transmisión Aérea.  
IV CONIMERA 1977.  
Autor : Duilio Ayaipoma Nicolini.
- 16.- Electrical Transmission and Distribution Reference Book. by Central Station Engineers of the Westinghose Electric Corporation.
- 17.- Revista Electra.