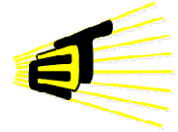




UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELAS DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Perfecta combinación entre energía e intelecto



“RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN PARA PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN AMBIENTES RURALES DEPRIMIDOS”.

FAVIO RUEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2011**

***“RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN PARA PROYECTOS
DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN AMBIENTES RURALES DEPRIMIDOS”.***

FAVIO RUEDA

**Trabajo de grado para optar el título de:
INGENIERO ELECTRICISTA**

Director

JULIO CÉSAR CHACÓN VELASCO

Ingeniero Electricista

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2011

AGRADECIMIENTOS

Al consorcio Tamayo y Tamayo el cual en cabeza de su Gerente el Ingeniero Electricista José Luis Tamayo Espitia Egresado De La Facultad De Minas De Medellín me enseñó que en la universidad enseñan que $1+1=2$ pero en la construcción de líneas no sabe si eso es cierto, este símil era para explicarme que la universidad es una cosa y la construcción de líneas es otra cosa.

Al Ingeniero electricista Eusebio Campos Egresado De La Universidad Industrial De Santander, jefe de desarrollo tecnológico en Electricaribe amigo y compañero de la universidad.

Al Ingeniero electricista Henry Estrada Egresado De La Facultad De Minas De Medellín el que me preparo para iniciar la labor en la construcción.

Al Ingeniero electricista Edwin Ramírez Egresado De La Facultad De Minas De Medellín que con sus consejos me motiva a seguir aprendiendo.

Al Ingeniero Freddy Ángel Conde ingeniero electricista Egresado De La Universidad De Antioquia el cual me enseñó en el terreno como era el comportamiento de un ingeniero.

Al Ingeniero Edison Martínez ingeniero electricista Egresado De La Universidad De Antioquia un saber propio y que muestra que en Colombia se sabe enseñar ingeniería eléctrica su vasto conocimiento en el tendido de redes lo hace un ingeniero capaz al cual para mí era un honor recibir sus enseñanzas.

A los Ingenieros Oswaldo Braun ingeniero agrónomo, Daniel Estrada ingeniero Industrial compañeros y amigos durante la construcción de la línea.

Al Ingeniero Julio César Chacón quien me guio duran este proyecto con sus ideas y aportes.

Al Ingeniero Jorge Ramón quien fue una de las personas que me facilito el poder complementar trabajo y universidad a la vez.

A Mi Madre María Sagrario Gómez Medina.

A Todas Mis Tías Maternas.

FAVIO RUEDA GÓMEZ

CONTENIDO

	PÁG
INTRODUCCIÓN	17
1. CAPÍTULO 1	
CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN	19
2. CAPÍTULO 2	
REPLANTEO	24
2.1 GENERALIDADES DE UN REPLANTEO	25
2.1.1 Planeación.	25
2.1.2 Estudio de planos.	25
2.1.3 Selección de equipos.	26
2.1.4 Georreferenciación de apoyos.	26
2.1.5 Toma de datos con gps.	27
2.1.6 Programación.	28
2.2 OPERACIONES BÁSICAS	28
2.2.1 Replanteo de alineaciones.	28
2.2.2 Replanteo de líneas.	29
2.2.3 Replanteo perpendiculares.	30
2.2.4 Replanteo paralelas.	32
2.2.5 Replanteo de curvas.	33
2.2.6 Trazado de ángulos.	33
2.3 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA REALIZAR UN REPLANTEO	32
2.3.1 Replanteo previo.	34

2.3.2 Replanteo definitivo.	35
CAPÍTULO 3	
LEVANTAMIENTO Y SEDIMENTACIÓN DE APOYOS Y CRUCETAS	39
3.1 COORDINACIÓN DE LAS LABORES CIVILES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS REDES Y EN EL LEVANTAMIENTO DE APOYOS	39
3.2 CEPAS PARA ANCLAS	42
3.3 CEPAS PARA HINCAR APOYOS	42
3.4 LINEAMIENTOS DEL RETIE PARA POSTES Y EXTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCÓN	44
3.5 CONCRETO PARA CIMENTACIÓN DE POSTERÍA	47
3.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS CRUCETAS ANGULARES METÁLICAS Y LOS SOPORTES	48
3.6.1 Características constructivas.	48
3.6.2 Características dimensionales.	49
3.7 LEVANTAMIENTOS DE APOYOS EN LA MOJANA SUCREÑA	50
CAPÍTULO 4	
TENDIDO DE LA LINEA	54

4.1 COLOCACIÓN DE HERRAJES	54
4.2 MONTAJE DE CORTACIRCUITOS	54
4.3 UTILIZACIÓN DE HERRAJES SOMETIDOS A ESFUERZOS GRANDES E TRACCIÓN	55
4.4 UTILIZACIÓN DE ARANDELAS	55
4.4.1 Arandelas redondas.	56
4.4.2 Arandelas de presión.	56
4.5 TENDIDO DE CONDUCTORES	56
4.6 TEMPLADO DE CONDUCTORES	58
4.7 COMO ACONDICIONAR UN CONDUCTOR NUEVO	60
4.8 RECOMENDACIONES PARA TENER EN CUENTA	62
4.9 CONEXIONES PROVISIONALES A TIERRA	64
4.10 AMARRE DE LOS CONDUCTORES SOBRE LOS AISLADORES DE PIN	64
4.10.1 Clase de alambre a utilizar.	65
4.10.2 Medidas de alambre a utilizar.	65
4.10.3 Reglas par un buen amarre.	72
4.11 PRUEBA DE LINEA	75
4.12 LEVANTAMIENTOS DE APOYOS EN LA MOJANA SUCREÑA	76
CAPÍTULO 5	
PUESTAS A TIERRA (PAT) Y PROTECCIONES	76
5.1 DEFINICIONES	76
5.1.1 Puesta a tierra (pat).	76
5.1.2 Electrodo de puesta a tierra.	78
5.1.3 Sistemas de protecciones de.	

Transformadores de potencia.	81
5.1.4 Aisladores.	82
5.2 NORMAS PARA AISLADORES SEGÚN EL RETIE	82
5.3 PAT, PROTECCIONES, Y AISLADORES EN LA MOJANA SUCREÑA	84
5.4 TRATAMIENTO DIGITAL DE DATOS TOMADOS CON GPS	86
6. CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	90

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.Alineación.	28
Figura 2.Replanteo de líneas.	29
Figura 3.Replanteo perpendiculares.	30
Figura 4.Trazado de perpendiculares.	31
Figura 5.Trazado de perpendiculares.	31
Figura 6. Replanteo de paralelas.	32
Figura 7. Replanteo de paralelas.	32
Figura 8. Replanteo de curvas.	33
Figura 9. Replanteo de ángulos.	34
Figura 10.Replanteo cucharito.	38
Figura 11.Cepa para anclas.	42
Figura 12.Cepa para apoyo.	43
Figura 13.Cortacircuitos.	44
Figura 14.Tendido de conductores.	57
Figura 15.Templado de conductores.	59
Figura 16.Conductor nuevo.	62
Figura 17.Pat provisional.	64
Figura 18.Amarre en el pin.	67
Figura19.Amarre en doble pin.	68
Figura 20.Sujeción de los alambres de amarre.	68
Figura 21.Amarre finalizado.	68
Figura 22 Guardar los datos del garmin en el computador	87

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla1. Sedimentación por tipo de suelo.	41
Tabla2. Medida del alambre de amarre.	66
Tabla3. Valores de referencia para puestas a tierra.	78
Tabla4. Requisito para electrodos de puesta a tierra.	79

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto1. Apoyo hincado en la cepa.	41
Foto2. Grúa mecánica.	50
Foto3. Grúa de brazo o neumática.	51
Foto4. Apoyo desnivelado.	51
Foto5. Apoyo nivelado.	52
Foto6. Sedimentación de apoyos.	52
Foto7. Sedimentación final de apoyos.	69
Foto8. Megohmetro.	69
Foto9. Aparato para prueba de conductividad.	70
Foto10. Apoyo con amarres.	71
Foto11. Carretes de cable.	71
Foto12. Liniero en actividad.	72
Foto13. Tendido de conductores.	72
Foto14. Arrastre de conductores.	73
Foto15. Poleas en el templado de conductores.	73
Foto16. Templado De conductores.	74
Foto17. Amarre Del Conductor A los Aisladores.	74
Foto18. Tendido Final De La Línea.	75
Foto19. Puesta a tierras.	80
Foto20. Puesta a tierras.	80
Foto21. Dps en transformadores	81
Foto22. Aisladores y dps	84
Foto 23 Electrodo de puesta a tierra	84
Foto 24 Cinta band en Acero para la puesta atierra	85
Foto 25 Transformador usado en la Mojana	85
Foto 26 Aisladores en cajas	86

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Localización General Proyecto la Majona Departamento Sucre.

Anexo B Plano en Autocad De La Línea En el Municipio Caimito.

Anexo C. Fotos De La línea Construidas En Caimito.

Anexo D. Fotos Del Que Hacer Diario De La obra

Anexo F. Ubicación en map source del tramo de la línea en Caimito

RESUMEN

TÍTULO: *

“RECOMENDACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE REDES ELÉCTRICAS EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN PARA PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN AMBIENTES RURALES DEPRIMIDOS”.

AUTOR:

FAVIO RUEDA **

PALABRAS CLAVES:

FAER, Comunidad, Invierno, Académico, Nacionalismo.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto es la vivencia de un trabajo realizado en la Mojana Sucreña que cubre los municipios de Sincelegito, Caimito, Guaranda, Majagual y San Marcos. La electrificación rural de estos municipios es un proyecto impulsado por el Gobierno Nacional a través del FAER.

El inicio de obra parte de la socialización de las comunidades que están favorecidas con el programa del Gobierno esta sensibilización es de gran importancia para que la comunidad se apropie del proyecto, esto es fundamental para logran la consecución de la obra, ya que el trazado de la línea pasa por los predios del cual la comunidad es dueña y es ella en ultimas la que facilita o dificulta la consecución de la obra.

La construcción de cepas da inicio a la obra en firme es una gran ventaja que da la Mojana Sucreña ya que su territorio es completamente plano facilitando la ejecución de obra pero no se confié esto tiene su precio la naturaleza no da nada gratis. El general invierno es dueño y señor de ese territorio ya que la Mojana es una depresión que está por debajo del nivel del mar.

Agregamos un componente académico al proyecto el cual es importante y en el fondo es lo que tanto como ingenieros, trabajadores sigue. Obviamente cada persona adecua lo visto en la academia a la medida de las necesidades que impone el terreno.

El terminar la obra genera muchas expectativa en las comunidades mostrando un carácter pleno de estas a la incorporación fundamental del que hacer nacional se sienten más identificados con su país y sienten un nacionalismo antes olvidado porque se sentían excluidas.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Julio César Chacón Velasco

ABSTRACT

TITLE:

“RECOMMENDATIONS FOR THE CONSTRUCTION ELECTRICAL NETWORK IN MIDDLE AND LOW TENSION FOR RURAL ELECTRIFICATION PROJECT IN RURAL ENVIRONMENT DEPRESSED”.

“

AUTHOR: FAVIO RUEDA **

KEYWORDS:

FAER, Community, Winter, Academic, Nationalism.

DESCRIPTION:

This project the experience of work done in the Mojana Sucreña covering municipalities of Sincelegito, Caimito, Guaranda, Majagual, and San Marcos. Rural electrification of these communities is a project initiated the Government through FAER.

The star of work part of the socialization of communities that are favoured by the governments agenda this awareness is of great importance for the community to appropriate the project, it is essential to the attainment of the work because the track line passing through the land which the community owns and is her latest which facilitates or hinder the achievement of the work.

Add academic component to the project which is import and what the background is both as engineers, workers continues, Obviously each person fits in the academy apparently tailored to the needs imposed by the field.

The completion of the work generated many expectation the communities show a full character of these founded addition to the national do feel more identified with their country and feel forgotten nationalism because they felt excluded.

** Faculty of Physical-Mechanic Engineering. School of Electrical, Electronical and Telecommunications Engineering. Director: Julio César Chacón Velasco

INTRODUCCIÓN

La Mojana Sucreña es una zona hostil y bella a la vez, con diversidad natural, presenta también contrastes sociales típicos de nuestra sociedad colombiana. El gobierno nacional a través del programa FAER¹ lleva electrificación rural a zonas apartadas del país. La Mojana Sucreña fue beneficiada con este programa.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende plasmar la vivencia de la construcción de 432 kilómetros de línea de media y baja tensión en la Mojana Sucreña.

El resultado de este proyecto es una compilación de las normas técnicas colombianas para la construcción de líneas aéreas y el que hacer de personas experimentadas en su construcción. Si existen las normas no quiere decir que estas sean leyes inviolables ya que la norma no obliga sino sugiere una forma de hacer. Solo el RETIE es de carácter obligatorio porque es un decreto ley de la república de Colombia.

Debido a que la construcción de líneas es un arte el cual lleva tiempo lograr el pleno dominio, por eso ISA exige al constructor un número de kilómetros construidos como experiencia para poder adjudicar un contrato de construcción de líneas aéreas, esto es en todos los niveles de tensión existentes en Colombia.

En el tendido de líneas aéreas se deben diferenciar los niveles de tensión. En el presente trabajo se muestra como se realiza el tendido de una línea de media y baja tensión.

Para ello se lleva una secuencia coordinada de los métodos en la construcción de la línea, que cubre aspectos normativos, tecnológicos y que da como resultado la realización de la línea.

Con el fin de mostrar en terreno las fases de obra se describen experiencias, y se muestran fotografías lo que ayuda a adentrarse en el acontecer diario de la construcción de la línea.

El capítulo primero se describe como el Estado colombiano a través del FAER electrifica las zonas rurales del país. En esta ocasión le correspondió a la Mojana Sucreña. Se hace un breve bosquejo de las condiciones técnicas, sociales, y ambientales de la Mojana para llevar a cabo el tendido de la línea de media y baja tensión.

¹ FAER: El Fondo de apoyo Financiero Para La Energización De Las Zonas Rurales Interconectadas

En el capítulo dos se da un bosquejo del procedimiento de replanteo de una línea eléctrica, empezando con los aspectos técnicos que se deben tener en cuenta para dicha labor y se termina explicando las acciones del replanteo en la vereda Cuharito del Municipio de San Marcos en la Mojana sucreña.

En el capítulo tres se trata lo concerniente a la obra civil de la línea, aspectos como la realización de las cepas, el hinchamiento y posterior sedimentación del apoyo y además las técnicas, normas y reglamentos para este propósito se encuentran en este capítulo.

En el capítulo cuatro se habla del tendido de la red. Se explican las normas y la forma de hacerse correctamente un tendido y se muestran en fotografía los pasos a seguir en el tendido de una línea.

En el capítulo cinco se muestran las protecciones eléctricas que se deben colocar en la línea para protegerla, tanto a ella como a los seres vivientes. En una fotografía se muestran las protecciones instaladas en las estructuras de las líneas construidas en la Mojana.

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN

Es clara la necesidad de llevar energía a las zonas rurales de Colombia porque con ello el desarrollo del país tiene un avance significativo en los aspectos sociales, culturales, y un desarrollo sostenido. Esto se ve reflejado en el mejoramiento y tratamiento del agua, en el comercio, en la preservación de los alimentos, también da una ventana a las nuevas tecnologías de la información TIC, ya que los habitantes de la zona podrán tener acceso a internet con ello abriendo posibilidades de educación virtual. El país también necesita y es parte fundamental de la carta democrática el derecho a la igualdad por tanto es obligación del estado poner a todos los ciudadanos en igual condiciones, por ello el Ministerio de Minas y Energía en convenio con ISA y la gobernación de Sucre está tratando de cumplir este precepto ya que con este proyecto se busca el 100 por ciento de electrificación del departamento de Sucre, con ello equiparando la zona rural con la zona urbana en el suministro de energía eléctrica.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones se desarrolla el presente trabajo de grado basado en las experiencias adquiridas en campo con la construcción de redes de distribución eléctrica de baja y media tensión en la Mojana sucreña, jalonando adicionalmente la economía de la región puesto que para la construcción civil de la obra no se necesita personal capacitado o con conocimiento técnico y se contrata gente de la zona.

La Mojana sucreña es una región de Colombia que presenta aspectos geográficos diversos y complejos, la cual le da unas características especiales. La Mojana es

una zona muy rica y diversa pero no cuenta con una infraestructura para su desarrollo, sumiéndola así en un estado de aletargamiento, y pobreza.

El gobierno nacional cuenta con un programa de el Ministerio de Minas para la electrificación rural este programa tiene como nombre FAER (fondo de apoyo financiero para la electrificación rural) permite con recursos propios electrificar zonas rurales del país mediante la presentación y justificación de proyectos los municipios colombianos pueden acceder a este programa.

La Mojona sucreña es una zona cenagosa con altas temperaturas y muy propicia para la agricultura y la ganadería, pudiéndose convertir en un polo de desarrollo industrial para el país, ya que posee fuentes hídricas en abundancia tierras fértiles, pero carece de energía eléctrica en el 80% de su territorio, lo cual limita altamente su desarrollo. Es así que el Ministerio de minas a través del convenio interadministrativo FAER 033- ISA-4000744-2008, y un porcentaje obtenido por la venta de energía a Ecuador destina recursos para la electrificación rural de los municipios colombianos y en esta oportunidad salió favorecida la Mojana Sucreña, con esto se espera suplir esta carencia que se presenta en la región. La región sufre de enormes inundaciones en el invierno volviéndose bastante pantanosa haciendo imposible el trabajo de levantamiento de apoyos por esa causa se tiene que empezar obras en diciembre ya que esa es la temporada de verano, este verano va hasta junio por eso es prioritario tener los apoyos en pie para esta fecha, si se logra este objetivo prácticamente se puede decir que la obra se concluye si no se logra esto es bastante difícil que se termine. Logrando el objetivo de tener los apoyos en pie se puede realizar el tendido de la red.

Enfrentarse al desarrollo de un proyecto implica el conocimiento de las realidades de la zona donde este va a ser ejecutado. Para ello, el ingeniero electricista debe realizar una serie de actividades adicionales, el solo hecho del proyecto plasmado en las memorias y planos. Se necesitan algunas adecuaciones a cada uno de los pasos del desarrollo del proyecto, que con base en la experiencia adquirida en la

Mojana Sucreña permitirán contar con un “guía” ó “recomendaciones” para los ingenieros que se enfrentan a situaciones reales de construcción de redes de media tensión (MT) y de baja tensión (BT) en el sector rural.

En esta ocasión fue beneficiada la Mojana Sucreña, esta labor fue impulsada por el presidente Álvaro Uribe Vélez, el cual veía un potencial enorme en la Mojana sucreña. Se realizaran obras de infraestructura nacional, la vía de las Américas para conectar a Venezuela. Por este motivo es importante dotar de energía la región, ya que adolece de este servicio público en el 80% de su zona rural, es así que se desarrolla un plan agresivo para electrificar la Mojana sucreña.

El primer paso fue contratar un estudio topográfico para el levantamiento de los apoyos este se realizo a mediados de 2009, después ISA asume el control para la ejecución del proyecto ordenando al consorcio Tamayo y Tamayo iniciar labores.

Se procede a elaborar los frentes de trabajo contratar el personal para la ejecución de la obra, se otorga los permisos correspondientes por parte de los usuarios para poder ingresar a sus predios e iniciar labores.

Se revisan los planos entregados por la empresa contratada para esto, y se toma la decisión de realizar un replanteo de línea llevando obviamente retrasos en la ejecución de obra.

En este tipo de obra un jugador muy importante es el clima el cual define realmente si se ejecuta o no la obra por eso retrasos en ella llevaría a paralizar el proyecto por eso el tiempo es muy importante todo se llevaba bien programado para evitar que el clima influyera en la obra, por tanto un nuevo replanteo corría el cronograma de trabajo y obligaba a depender de las condiciones del clima en un futuro, por supuesto esto no es una condición óptima de trabajo.

Este proyecto es un logro interdisciplinario entre empresas del sector eléctrico y el gobierno nacional, se necesitó la colaboración muy estrecha para la solución de

problemas que la obra iba presentando ya que tanto ISA como Electricaribe y el Ministerio de minas aportaban sus criterios para la solución de dichos problemas, esto por consiguiente forjó un equipo de trabajo muy compacto para beneficiar una comunidad.

Las experiencias adquiridas en la participación de la ejecución de este proyecto, junto con elementos de consulta adicionales permitirán la elaboración de las recomendaciones necesarias para acometer el desarrollo de proyectos de electrificación rural en regiones donde la situación económica y social se aleja de los estándares nacionales.

Las líneas de baja y media tensión son líneas cortas, si bien el trazado es de 432 km este se considera como tramo corto por eso aplica la teoría de una línea corta. En el caso del proyecto de la Mojana Sucreña la parte civil, requisito previo para la instalación de la línea, cumple los siguientes parámetros: las excavaciones deben ser de 1,90 m de profundidad, los postes para el soporte de líneas de baja tensión deben tener un peso de 510 kg y 1050 kg para media tensión y soporte, además de los elementos de la herrajería. El tendido de la línea en baja tensión es de cable trenzado en 1/0, y se instalarán transformadores monofásicos de 10 kVA. En el plano teórico se tienen en cuenta las disposiciones del RETIE y las normas de Electricaribe e ISA.

Considerando como referencia algunos aspectos en la configuración del sistema existente se toma como base para el diseño del sistema de distribución primaria proyectado. Se realizan por lo tanto los cálculos de regulación del sistema de distribución primaria existente, con el fin de generar un diagnóstico y tomar decisiones sobre la futura topología del sistema. Una vez se define la topología proyectada se realizan los cálculos con los diferentes conductores con el fin de seleccionar desde el punto de vista técnico, y económico, los conductores óptimos.

El comportamiento mecánico del conductor es de importancia fundamental en las líneas aéreas de transmisión y distribución. Por una parte subir la temperatura del conductor por las condiciones ambientales y el paso de la corriente eléctrica, se presenta alargamiento de su longitud, la cual produce grandes valores de desplazamiento vertical (flecha) la cual puede resultar en acercamientos al terreno, los cuales pueden violar las mínimas distancias eléctricas. Por otra parte es muy importante conocer las máximas tensiones que van a soportar el conductor y las estructuras. Para conseguir las flechas y tensiones adecuadas es necesario garantizar en el tendido del conductor, que éste quede instalado en unas condiciones previamente determinadas. Los cálculos mecánicos se agrupan, por lo tanto, en estudios de flechas y tensiones. El estudio de flechas y tensiones comprende el cálculo de las tensiones máximas que soportarán los elementos y la forma que tomará el conductor en condiciones de máxima elongación.

La ausencia de información de campo a la hora de enfrentar la ejecución de un proyecto, en una zona con las condiciones como los de la Mojana Sucreña motivan la recopilación de recomendaciones que se debe tener en cuenta en estos casos. Una guía con estas recomendaciones sería un buen punto de partida para un ingeniero recién egresado con ganas de trabajar en electrificación rural y es básicamente el objetivo del presente trabajo de grado.

CAPÍTULO 2

REPLANTEO

Se llama replanteo al proceso inverso al levantamiento: consiste básicamente en establecer en un terreno dado direcciones, líneas o ejes y alturas según un proyecto lo indique. El replanteo es el comienzo de toda obra, ya sea de edificación, de viabilidad, de minería ó eléctrica. El replanteo empieza con la posibilidad de realizar una construcción a través de una zona prefijada y termina con la señalización de todo el recorrido. Para ello, hay que determinar la línea más conveniente dentro de una franja ancha de terreno y, en caso necesario, decidir entre las líneas disponibles las que sean más viables. La línea definitiva se adopta después de analizar todos los detalles del terreno y se consolida con un levantamiento topográfico exacto.

El estudio del replanteo se hace casi siempre utilizando mapas y planos levantados con anterioridad. No se puede calificar de bien hecho un replanteo que no utilice y aproveche este elemento de soporte. De la bondad del mapa que se disponga y de fácil aprovechamiento depende la rapidez y comodidad con la que se puede replantear una línea fija en el terreno, o con la que se puede jalonar, medir y nivelar una línea para referirle a ella todos los demás detalles.

Cuando no se disponga de un mapa para hacer el replanteo conviene levantar primero un plano completo del lugar donde se quiere hacer el trazado, señalando provisionalmente sobre el terreno los puntos principales del levantamiento.

En terrenos en espacios abiertos, tanto en un proyecto como en la realidad, ha de existir un punto inicial de partida, el cual puede ser el eje de una carretera, un camino, una edificación existente, con la indicación expresa de la orientación

necesaria. Para el caso presentado uno de los puntos de referencia es el eje de una carretera.

2.1 GENERALIDADES DE UN REPLANTEO

A continuación se presentan los pasos necesarios para la ejecución de un trabajo de replanteo.

2.1.1 La planeación.

Este proceso es de vital importancia para la iniciación de cualquier actividad; en el se determina el tiempo de ejecución y el orden a seguir. El replanteo se planea de acuerdo con las obra a ejecutar y en el orden que se determina según la programación para la construcción del proyecto. Cada actividad de replanteo se debe realizar inmediatamente antes de la construcción correspondiente para evitar movimientos en la señalización causadas por otras actividades.

2.1.2 Estudio de planos.

Para realizar el replanteo de cualquier parte de un proyecto, se debe adelantar una cuidadosa revisión de los planos. Entre otros elementos se observarán los siguientes:

- dirección de los ejes principales del proyecto,
- separación y ángulos de corte si no son paralelos
- las distancias que se deben respetar desde los ejes de las vías adyacentes,
- límites de lotes y construcciones vecinas según los reglamentos nacionales y municipales.

Es muy importante en esta etapa del proyecto haber realizado la coordinación de planos, la cual consiste en verificar que los diferentes tipos de planos, localización de redes e instalaciones, no presenten conflictos e incongruencia entre ellos.

2.1.3 Selección de equipo.

Conocida la labor que se va a adelantar, y teniendo en cuenta el cronograma de trabajo y el grado de exactitud necesario, se procede seleccionar el tipo de equipo de topografía indispensable para ejecutar exitosamente el replanteo

2.1.4 Georreferenciación de apoyos.

Básicamente es una técnica geográfica, que consiste en asignar mediante cualquier medio técnico apropiado, una serie de coordenadas geográficas procedentes de una imagen de referencia conocida, a una imagen digital de destino. Estas coordenadas geográficas reemplazarán a las coordenadas graficas propias de una imagen digital en cada píxel, sin alterar ningún otro atributo de la imagen original; cada serie de pixeles serán fácilmente reconocibles, en ambas imágenes y pueden tener un origen antrópico (cruces de carreteras, caminos, edificaciones y estructuras, construcciones, vértices geodésicos, etc.) ó naturales, normalmente de carácter fisiográficos y topográficos, y que no sean demasiado dinámicos en el espacio ni en el tiempo (desembocaduras de ríos, línea de costa, toponimia etc.). Los puntos adicionados de esta forma deben estar bien distribuidos en la escena, tratando al máximo de evitar la linealidad en su colocación, a este proceso se le denomina Corrección geométrica de una imagen.

El nivel de precisión alcanzado en la georreferencia depende en gran medida de la fuente de información geográfica utilizada (mapas temáticos, cartografía oficial, puntos de GPS etc.) y de la escala a la cual se vaya a realizar el trabajo. Como

regla general de precisión se puede decir que el error medio cuadrático de los puntos debe ser inferior a tres.

Como se puede inferir de la anterior explicación es fundamental para cualquier tipo de corrección geométrica, identificar previamente sobre la imagen un serie de puntos conocidos, denominados puntos de control, que por su naturaleza sean poco dinámicos en el tiempo y en el espacio. La característica a tener en cuenta en la elección de un punto de control terrestre (GCP) es la capacidad de “localización inequívoca” con la mayor precisión tanto en la imagen como en el terreno. Los puntos de control de tierra se adquieren directamente sobre una cartografía base de referencia en formato digital o analógico o bien con mediciones en campo con GPS ó cualquier otro aparato topográfico (teodolito). La cantidad de puntos necesarios para una buena rectificación depende del orden del polinomio a usar, de la escala del mapa, del relieve del área y del grado de precisión requerido.

2.1.5 Toma de datos con gps.

La toma de datos con GPS del trazado de la línea se hace manualmente. Se realiza después del levantamiento de apoyos, Se debe georreferenciar cada apoyo. La tecnología actual permite almacenar la información tomada, lo que facilita la toma de datos de campo sin que los apoyos estén en su totalidad en pie, lo cual a su vez permite ir construyendo el plano.

La información recogida con el GPS se guarda en el computador en formato digital, para convertirla en un formato de dibujo y se puede escoger cualquier programa para realizar los planos. El programa más usado es *autocad* pero esto no quiere decir que sea el único, pues depende de las condiciones de la comercializadora, quién es la que decide que formato de dibujo prefiere en sus planos.

Por razones del equipo satelital el tratamiento digital es distinto, por lo general cada GPS trae un programa propio y es necesario que el personal que va a manejar el GPS se familiarice con este, de tal manera que la actividad final sea la construcción definitiva y total de los planos.

2.1.6 Programación.

Con la magnitud de trabajo estudiada y definido de equipo indispensable se procede a determinar el número de cuadrillas básicas necesarias para ejecutar la actividad en el tiempo programado, y la cantidad de herramienta y equipo correspondiente.

2.2 OPERACIONES BÁSICAS

A continuación se describen las operaciones básicas en el proceso del desarrollo de un trabajo de replanteo:

2.2.1 Replanteo de alineaciones.

Una alineación se define mediante dos puntos, un punto y una dirección. Si se hace con base en dos puntos se establecen jalones de forma precisa y se mide la distancia horizontalmente utilizando la cinta.

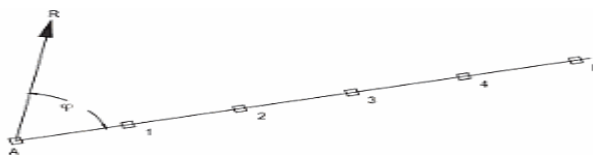


Figura1 Alineación

Fuente: Jaime Ricardo Ñaños Topografía global

2.2.2 Replanteo de líneas

Como ya se mencionó anteriormente en espacios abiertos ha de existir un punto inicial de partida, el cual puede ser el eje de una carretera, un camino una edificación existente, con la indicación expresa de la orientación necesaria. Es desde este punto del que se procede al trazado de alineaciones, niveles y todos aquellos datos necesarios para su ejecución hasta lograr la ubicación exacta del diseño proyectado.

Para el trazado de alineaciones, se utilizaran banderolas, situando una de ellas en el punto de partida. Mediante una brújula se puede orientar la alineación deseada, partiendo de una banderola y situando otra al extremo de dicha alineación. Esta operación, se realiza situándose unos dos metros de la primera banderola e indicando la posición correcta cuando la segunda banderola quede tapada por la primera. Los demás puntos se obtienen por medición horizontal y se sitúan con nuevas banderolas, procediendo al alineado tal y como anteriormente se ha descrito.



Figura 2 Replanteo De Lineas

Fuente: Euclides Pénate PDF EUPC Ingeniería De Planeación

2.2.3 Replanteo de perpendiculares

Esta es una de las operaciones más frecuentes a realizar en los replanteos, para lo cual se siguen las siguientes metodologías:

- Primera forma. En distancias inferiores a los 2 m, se utiliza por comodidad la escuadra de madera. Se sitúa uno de los lados en la alineación a la que se desea trazar la perpendicular, colocando el lado de la escuadra perfectamente sobre dicha alineación, por el otro se extiende un hilo coincidente con el mismo que definirá la perpendicular deseada.

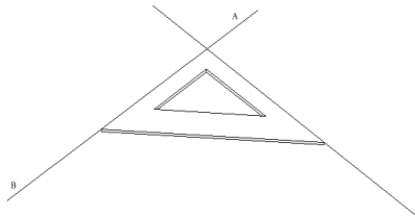


Figura 3 Replanteo Perpendiculares

Fuente:Euclides Peñate PDF EUPC Ingeniería De Planeación

- Segunda forma. En un punto se traza una escuadra o ángulo recto así:
 - Se ubica una persona sobre el punto y ella extiende los brazos sobre la línea demarcada con el hilo.
 - La persona encargada va cerrando los brazos al mismo tiempo hacia delante hasta que las manos se junten.

- Mirando hacia el frente se marca un punto que aproximadamente está en escuadra con la línea en que se está tomando como referencia
- Tercera forma. La cual se considera más exacta y tiene en cuenta los siguientes elementos:
 - Se toma un hilo de doce metros al cual se le hace un nudo en un extremo.
 - Luego se miden tres metros y se le hace otro nudo, enseguida se miden cuatro metros más y se hace otro nudo. Por último se miden los cinco metros restantes y se hace el último nudo.
 - El ultimo nudo se junta con el primero y se pide ayuda a otras personas para templar la cabuya cogiéndola cada cual por un nudo.
 - De esta forma se obtiene un triangulo grande, para que colocado sobre la línea de referencia se tenga la escuadra que se busca.

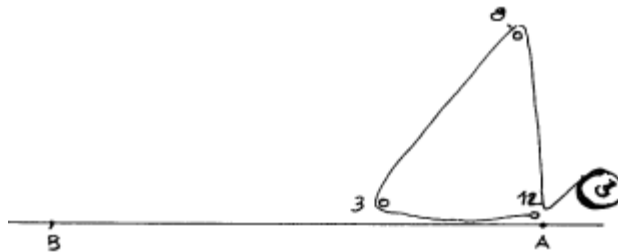


Figura 4 Trazado Perpendiculares

Fuente: Ing Donaldo Arbeláez Flores PDF Dannotario

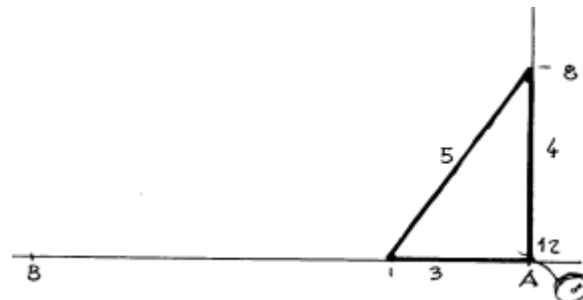


Figura 5 Trazado de Perpendiculares

Fuente: Ing Donaldo Arbeláez Flores PDF Dannotario

2.2.4 replanteo de paralelas

El trazado de una paralela a una alineación dada A-B a una distancia conocida C, se puede realizar de varias formas, las más sencillas son:

- Trazar dos perpendiculares por dos puntos cualquiera y medir directamente sobre ellas la distancia deseada.
- Por dos puntos cualesquiera, se traza con la distancia deseada sendos arcos uniendo los puntos tangentes, obteniendo de esta manera la paralela deseada.

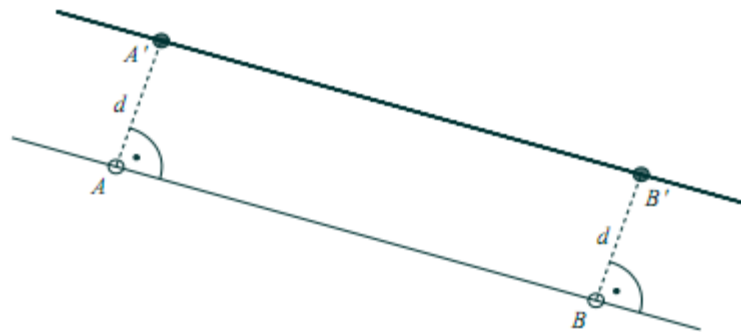


Figura 6 Replanteo De Paralelas

Fuente: Arquitecto Carlos Baron PDF Arquitectura Practica

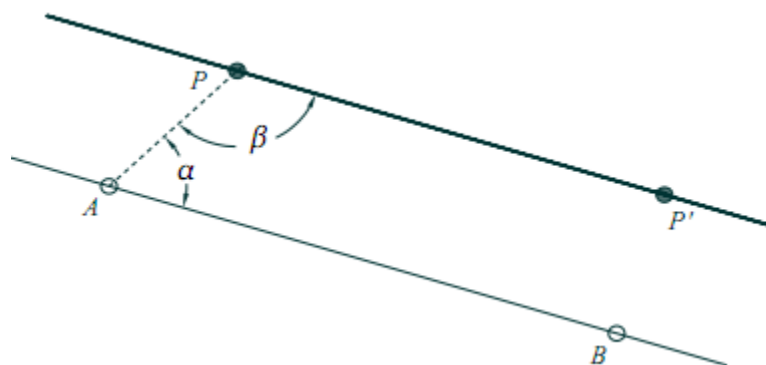


Figura 7 Replanteo De Paralelas

Fuente: Arquitecto Carlos Baron PDF arquitectura practica

2.2.5 Replanteo de curvas

Con frecuencia, es necesario replantear un sector de obra con cierta curvatura, no teniendo espacio suficiente para trazarlo mediante un radio de arco o circunferencia, o que por sus dimensiones sea prácticamente imposible realizarlo.

En este caso, el método más sencillo para realizar el trazado sería por coordenadas, las cuales previamente se han dibujado sobre el plano con las abscisas y ordenadas necesarias para representar fielmente la curvatura y que posteriormente se pueda trasladar al terreno.

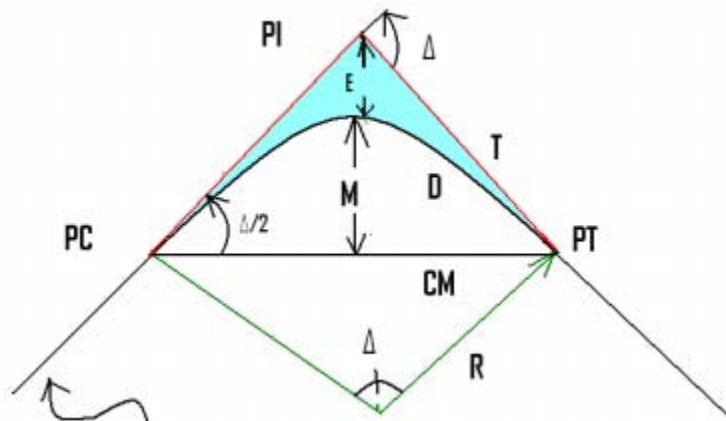


Figura 8 Replanteo De Curvas

Fuente: Arquitecto Antonio Pastrana Urbano PDF manual de topografía

2.2.6 Trazado de ángulos

En este caso lo más lógico sería partir una vez más de una alineación conocida; pero para el trazado de un ángulo determinado, será necesario apoyarse de una operación matemática muy sencilla, la cuál se describe a continuación:

Conocidos el ángulo α y una distancia "d" (el cateto), se halla la tangente del ángulo α ($\tan \alpha = \frac{h}{d}$), donde $h = AC$ Y $d = AB$ con lo que se obtiene una magnitud

“h”, la cual situada al extremo de la longitud “d”, previamente marcada y uniendo los extremos de ésta con el inicio, se obtiene el ángulo deseado.

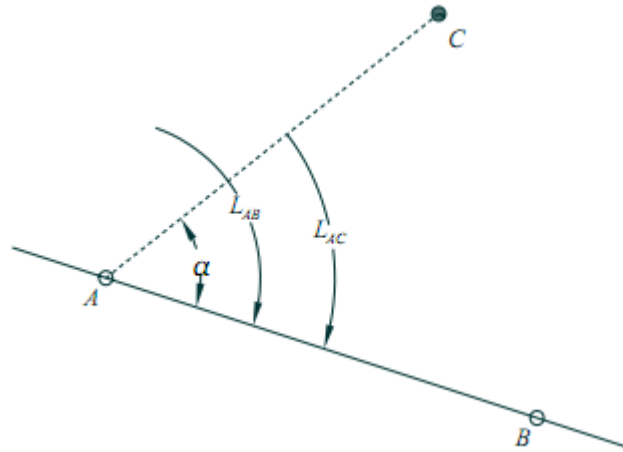


Figura 9 Replanteo de ángulos

Fuente: Arquitecto Carlos Baron PDF Arquitectura Practica

2.3 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA REALIZAR UN REPLANTEO

Inicialmente se ubica un punto fijo para, a partir de este, determinar el posicionamiento de diferentes puntos en el terreno. Este punto fijo puede estar dentro o fuera del terreno. Cuando el punto se localiza fuera del terreno pueden tomarse como referencias

La coordenada de este punto debe ser rectificadas antes de utilizarla como referencia para ubicar el primer punto en el terreno. Lo ideal sería usar una unidad de GPS para rectificar la ubicación de este punto.

Importante recalcar que la labor inicial de todo trabajo de replanteo es establecer unos puntos de referencia, ubicados donde no sea posible dañarlos o afectarlos con las labores de construcción. Estos puntos de referencia deben ser fijos y estables, fáciles de ubicar ya que serán empleados repetidamente durante el

proceso de la ejecución de la obra. Deben permitir establecer rápida y fácilmente una línea base la que a su vez define la orientación de la línea de distribución eléctrica.

2.3.1 Replanteo previo

Se llevan al terreno los datos expresados en la documentación técnica de las obras a ejecutar, fijando zonas destinadas a otros usos como por ejemplo la ubicación de campamentos

2.3.2 Replanteo definitivo

En este paso se ubican los puntos en el terreno por medio de diferentes métodos los cuales varían según los equipos, las necesidades, los costos y el tiempo de ejecución de la obra.

Se procede a la nivelación del terreno y al trazado de las alineaciones necesarias para continuar por un terreno apto y conveniente y así obtener la línea de trazado. Para este procedimiento se tiene en cuenta un orden lógico, el cual se establece en el cronograma de actividades. Los trabajos se iniciarán con el trazado de un mapa a mano alzada.

El replanteo en la Mojana lo iniciaron los capataces de frente por condiciones de tiempo. Todo proyecto de electrificación conlleva un estudio topográfico y geoestacionario, el proyecto de la Mojana Sucreña lo llevo a cabo la empresa GPI², la cual presentó los planos para realizar el trazado.

El trazado de las redes se inició con los planos entregados por GPI, pero se encontraron incompatibilidades con la normatividad exigida por el Ministerio de Transporte en lo correspondiente al levantamiento de apoyos cerca a las vías,

² GPI: Gerencia En Proyectos De Ingeniería

puesto que según esta normatividad para vías primarias, secundarias y terciarias se deben cumplir la siguientes disposiciones:

- en vías primarias, desde el eje de la vía al apoyo debe existir una distancia de 33 m
- en vías secundarias la distancia debe ser de 22,5 m
- y en las vías terciarias la distancia es de 15 m

En los planos entregados por la empresa encargada (GPI) estas distancias no se cumplían

Por la anterior razón se inició un nuevo replanteo, el ingeniero debe estar siempre preparado para tomar decisiones y conocer las técnicas para la realización de un replanteo de línea, aunque esta actividad adicional se traduzca en sobrecostos para la obra.

Se presenta como ejemplo el replanteo realizado en la Mojana Sucreña el cual constaba de 9 frentes de trabajo, los cuales cubrían 432 km de extensión de la línea. Cada capataz de frente inicia el replanteo, lo que conlleva a atrasos en la obra. El replanteo tendría que ser autorizado de común acuerdo entre el dueño de la obra, en este caso por ISA y por la firma encargada de la interventoría. Los capataces demoran entre una y dos semanas la culminación del replanteo. La interventoría e ISA revisan cada tramo de línea replanteada lo cual necesariamente lleva al atraso en la ejecución de la obra. Esto genera conflictos y por ende pérdidas para el constructor demostrando así lo importante de un replanteo ajustado tanto a las necesidades de la obra como a la normatividad exigida, y el no tener una base sólida para ejecutarlo conduce a la generación de pérdidas económicas.

A continuación se explicará para un tramo corto, en la vereda Cucharito, como se realizó el replanteo. La longitud de la línea de aproximadamente 10 km, en un terreno plano. El capataz inicialmente hace el replanteo visualmente, sin la ayuda de aparatos topográficos, lo que resulta importante debido a la rapidez con que se ejecuta y aprovechando la experiencia del encargado del trabajo. El replanteo se inicia en un paso flojo, el cual se considera como la conexión o alimentación para

el tramo de línea. Se lleva a cabo por inspección visual y siguiendo las pautas de Ministerio de Transporte, para replanteo cerca de las vías.

Para la línea de 13,2 kV el vano es máximo de 120 m y para el tendido de baja tensión, máximo de 40 m. En teoría esto es relativamente fácil, sin embargo, es necesario tener en cuenta otros factores, el más importante el factor humano, que resulta ser impredecible y que a su vez, altera el tiempo de ejecución de la obra; algunos ejemplos de estos factores son: impedir que la línea pase por un predio, argumentar que se deforestan árboles de los cuales el campesino deriva su sustento, el paso por zonas boscosas; criterios simples que pueden alterar la ejecución de un replanteo y sin embargo, la actividad se tiene que adecuar a la necesidad de los individuos que habitan la zona, pues de no ser así se llegaría a confrontaciones con la comunidad, que quizás en el pasado se pasaban por alto pero que hoy en día no es posible ignorar. El ingeniero tiene que estar capacitado para lidiar con estos problemas y tener un buen criterio para lidiar y solucionar estas eventualidades.

El replanteo se respalda con la interventoría de la obra que es al final de cuentas la que lo aprueba, ya que sin el visto bueno de ella no se puede iniciar el trabajo definitivo de la obra, en esta fase es bueno tener complementariedad con la interventoría para que el replanteo se ejecute la más rápido posible. Se compromete una cuadrilla de trabajadores para esta labor, porque el replanteo es consecutivo y busca generar una línea recta en el plano, por eso se cubre todo el trazado de la línea desde un punto inicial hasta un punto final. No se puede ni iniciar, ni terminar en puntos distintos.

En el caso del ejemplo citado el trazado arrojó 40 apoyos y 7 centros de transformación de energía. Los apoyos se dividieron en 23 de paso, 5 de retención, 7 de derivación y 5 de anclaje

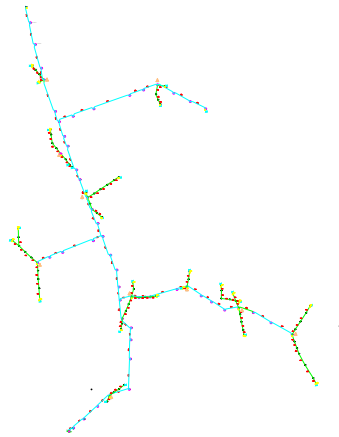


Figura 10 Replanteo Cucharito

Fuente: Autor

Aprobado este replanteo se inicia la construcción de la obra. Lo mismo ocurre en los demás frentes de trabajo, obviamente no todos los frentes empiezan al mismo tiempo lo que sería lo deseable, pero no todos los frentes son iguales, unos son más largos que otros. Lo ideal es que cada frente empiece la obra al mismo tiempo con los planos suministrados por la empresa encargada del trazado de la línea, pero esto en la práctica nunca sucede. La decisión de iniciar obra se respalda con la firma del comité de obra y se inician los trabajos en firme, obviamente el diseño inicial se modifica de acuerdo al replanteo definitivo, buscando que el trabajo anterior no se pierda totalmente. Es importante nuevamente recalcar que el replanteo sea aprobado por todas las instancias correspondientes para evitar sobrecostos y pérdida de trabajo realizado.

CAPÍTULO 3

LEVANTAMIENTO Y SEDIMENTACIÓN DE APOYOS Y CRUCETAS

3.1 COORDINACIÓN DE LAS LABORES CIVILES EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS REDES Y EN EL LEVANTAMIENTO DE APOYOS

En esta parte de la obra se inician las excavaciones que incluyen las cepas y cimentaciones que en función de la naturaleza del terreno y características del material a empotrar, difieren en las distintas regiones dadas su gran variedad de tipos de terreno.

Una vez que se cuenta con el trazado y estacado de la línea, la excavación de las cepas es la primera acción a seguir por el constructor. En la mayoría de los casos quien ejecuta estos trabajos es personal sin conocimientos de construcción de líneas, por lo que se requiere que el supervisor de la obra compruebe las características de las cepas. Se debe tomar en cuenta que la cepa debe de estar en el centro del trazado de la línea, para que los postes queden alineados.

Antes de empezar la excavación de las cepas, se necesitan comprobar las dimensiones de las mismas, así como las características de consistencia del terreno, las del poste a hincar, las del ancla a enterrar ó las de las templeas. En el medio rural se debe tomar en cuenta que el terreno no tenga problemas de erosión por efectos pluviales ó eólicos.

También se debe verificar que no existan problemas de compactación del terreno. Es necesario apisonarlo debidamente para obtener una óptima compactación; tener cuidado de que no queden huecos al cimentar con piedras grandes que obstruyan el llenado con tierra para la compactación. En áreas urbanas siempre se

debe tener presente que pueden existir instalaciones de agua, gas, drenaje, cables eléctricos, de comunicaciones ó fibra óptica.

Se recuerda que al destruir un andén es obligación del mismo constructor dejarla en condición similar a la original y limpia. Se debe tener cuidado de tapar provisionalmente las cepas cuando el poste o ancla no se instalen inmediatamente. La tapa debe de ser de material resistente y pintada con franjas de color amarillo tráfico y negro, de lo contrario se pueden causar accidentes a los peatones. En el área rural se recomienda dejar un montículo de tierra adicional una vez cubierta la cepa, para que al compactarse con el tiempo, el nivel de la cepa quede ligeramente superior al del terreno original.

En terreno salitrosos es necesario prever la corrosión por el efecto del terreno en los materiales a enterrar. En especial en los primeros 60 cm, los postes a instalar se deberán proteger de la salinidad aplicándole dos capas de impermeabilizante base en frío en la parte a enterrar mas 20 cm sobre la superficie. Para compactar utilizar el material extraído de la cepa, excepto que se indique que debe substituirse o adicionarse otros materiales.

La profundidad de la cepa para empotrar postes está en función del tipo de terreno, de la altura, la resistencia del poste y de su diámetro. El diámetro de la cepa es de 60 cm como mínimo en todos los casos.

Un terreno normal que se anega como tierra de cultivo se debe considerar como un terreno blando. Un terreno blando es posible considerarlo como terreno normal si se compacta con piedras 30 cm en la base y 60 cm en la parte superior del empotramiento. En áreas urbanas en que el poste está en andén terminado, este se considera como terreno normal.

Un terreno normal es posible considerarlo como terreno duro si se compacta con piedras de 30 cm en la base y 60 cm en la parte superior del empotramiento. En

zonas con actividad sísmica se adicionan 10 cm al empotramiento de la tabla No 1 y si el terreno es blando se procede de la siguiente manera En líneas rurales con terreno blando o normal se debe agregar una capa de 30 cm de piedra en la parte superior de la cepa. En caso de que no se tenga la tabla, se puede utilizar la fórmula siguiente para terreno normal: Profundidad del empotramiento = Altura del poste en cm/10 + 60 cm. ($h=a\div 10 + 60\text{cm}$)

Donde,

h es la profundidad del empotramiento en cm

a es la altura del poste en cm

Foto 1 Apoyo Hincado En La Cepa



Fuente: Autor

Tabla No 1. Sedimentación Por Tipo De Suelo

Empotramiento por tipo de suelos(cm)			
Altura (m) y resistencia en(kg) del poste	Blando	Normal	Duro
	Arcilla, arena suelta y arcilla con arena	Tierra común	Grava y roca
9 - 450	160	120	100
10 - 510	160	140	120
12-1050	180	170	150

Fuente: PDF construcciones técnicas Condensa

3.2 CEPAS PARA ANCLAS

A continuación se listan algunas de las características que se deben tener en cuenta en la construcción de las cepas para las anclas:

- La profundidad de la cepa debe ser de 140 cm para que la inclinación del perno ancla se de 45° .
- El perno ancla debe quedar 20 cm fuera del piso terminado y se hace una zanja para que quede alineado al punto de sujeción del cable de retenida de la estructura.
- Las anclas deben quedar recargadas en la pared de la cepa.
- El relleno de la cepa debe hacerse con el mismo material extraído del terreno, compactándolo cada 20 cm.
- En terreno blando, el relleno de la cepa del ancla se compacta con piedras de 10 cm de diámetro hasta formar una capa de 60 cm de espesor sobre la base de la cepa.

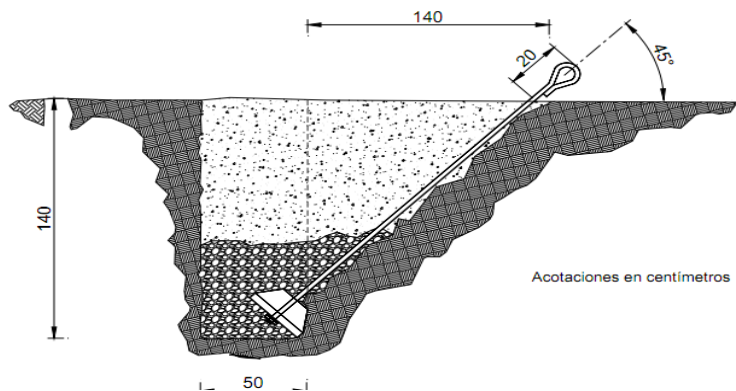


Figura 11 Cepa para Anclas

Fuente: PDF comisión federal de electricidad

3.3 CEPAS PARA HINCAR APOYOS

Las siguientes son las recomendaciones a seguir en la construcción de las cepas para hincar los postes:

- Insertar el poste y centrarlo en la misma.
- Girar el poste para que la cara con las características del mismo quede del lado del tránsito.
- Con el material extraído rellenar la cepa con una capa de 20 cm alrededor del poste y compactarlo.
- La cepa para hincar el poste debe tener un diámetro mínimo de 60 cm y una profundidad indicada según la norma³ en función del tipo de terreno. Verificar que la cepa esté centrada con respecto al eje de la línea.
- Plomear el poste y continuar rellenando la cepa en capas de 20 cm compactando cada una de ellas, comprobando su verticalidad.
- En lugares donde no exista andén debe quedar un pequeño montículo de tierra sobre el nivel de piso, aproximadamente de 10 cm alrededor del poste y este debe ser compactado.
- Cuando se utilice piedra en el empotramiento, se deben añadir agregados finos (tierra y arena) para eliminar huecos entre las piedras y mejorar la compactación.
- En terreno blando sobreponer el poste en una base de piedra de 30 cm de espesor.

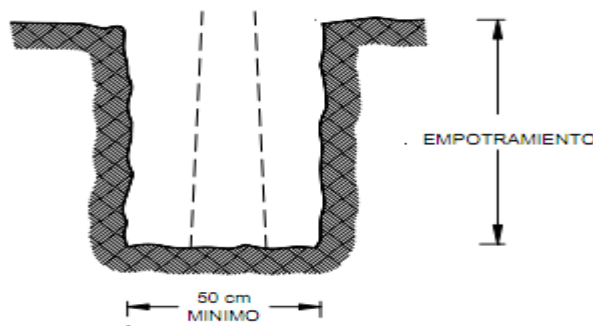


Figura 12 Cepa Para Apoyo

Fuente: PDF comisión federal de electricidad

³ Norma Técnica colombiana 1329

3.4 LINEAMIENTOS DEL RETIE⁴ PARA POSTES Y ESTRUCTURAS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN

A continuación se transcribe el artículo del RETIE, que hace referencia a los lineamientos para postes y estructuras de redes de distribución:

Las estructuras de soporte de las redes de distribución para tensión inferior a 57,5 kV pueden ser postes de madera, concreto, hierro, acero, fibras poliméricas reforzadas u otros materiales; así como torres o torrecillas metálicas, siempre y cuando cumplan con los siguientes requisitos que le apliquen, adaptados de normas tales como la NTC 1329, NTC 776, NTC 1056, NTC 2222, ASTM D 4923.

a. Se deben usar postes de dimensiones estandarizadas de 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20 o 22 m, con tolerancias de más o menos 50 mm, de tal forma que se garanticen las distancias mínimas de seguridad establecidas en el Artículo 13° del RETIE. Los postes de materiales distintos a madera deben ser especificados y probados para cargas de rotura mínimas de 5001 N, 7355 N, 10300 N, 13240 N, 17640 N, 19600 N o sus equivalentes 510, 750, 1050 o 1350, 1800 o 2000 kgf. Si las condiciones específicas de la instalación exigen cargas de rotura o longitudes mayores a las establecidas en el RETIE, el usuario justificará su uso y precisará las especificaciones técnicas requeridas.

b. Los postes de concreto de sección circular o poligonal deben presentar una conicidad entre 2 y 1,5 cm/m de longitud, conforme a la NTC 1329.

c. El poste debe tener en la parte superior perforaciones diametrales, sobre un mismo plano a distancias uniformes con las dimensiones y tolerancias para ser atravesadas por pernos hasta de 19 mm de diámetro, estas no deben dejar

⁴ Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

expuesta las partes metálicas de la armazón, el número y distancias de las perforaciones dependerá de las dimensiones de los herrajes utilizados en la estructura. Algunas de estas perforaciones deben tener un ángulo que permitan el paso al interior del poste de los conductores de puesta a tierra.

d. Los postes con núcleo hueco deberán suministrarse con dos perforaciones de diámetro no menor a 2 cm, localizadas a una distancia entre 20 y 50 cm por debajo de la marcación de enterramiento, con el fin de permitir el paso de conductor de puesta a tierra por dentro del poste y facilitar su conexión al electrodo de puesta a tierra.

e. Los postes de concreto deben ser construidos con las técnicas de mezclas y materiales reconocidos por el Código sismo resistente o las normas técnicas para este tipo de requerimientos, no deben presentar partes de su armadura expuestas a la corrosión, la profundidad del hierro no debe ser menor a 25 mm para uso en ambientes salinos y 20 mm para uso en ambientes normales, para postes armados vibrados la profundidad para ambientes salinos o corrosivos se aumentará en 5 mm o el valor determinado en una norma técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC aplicable a poste de concreto. Igualmente, no deben presentar fisuras o grietas que comprometan la vida útil y la seguridad mecánica. El fabricante deberá tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se vaya a instalar el poste y tomará las medidas constructivas para contrarrestar la corrosión.

f. El factor de seguridad de los postes, calculado como la relación entre la carga mínima de rotura y la tensión máxima aplicada (carga máxima de trabajo), no puede ser inferior a 2.

g. El poste, bajo la acción de una carga aplicada a 20 cm de la cima, con intensidad igual al 40% de la carga mínima de rotura, no debe producir una flecha superior al 3% de la longitud libre.

h. Longitud de empotramiento o enterramiento: el poste debe ser empotrado a una profundidad igual a 60 cm más el 10% de la longitud del poste y en todo caso se debe verificar que no presente peligro de volcamiento. El fabricante debe marcar con pintura permanente la sección transversal donde se localice esta distancia.

i. Centro de gravedad del poste: El fabricante debe marcar con pintura permanente la sección trasversal donde se encuentre el centro de gravedad del poste, esto con el fin de permitir su manipulación e izaje con el menor riesgo para el operario.

j. Los postes de madera deberán cumplir los siguientes requisitos: ser tratados contra hongos y demás agentes que les puedan reducir su vida útil, las dimensiones, esfuerzo de flexión no debe ser menor a los valores establecidos en las normas técnicas internacionales o NTC tales como la NTC 776, NTC 1056, NTC 2222, NTC 1093, NTC 1057, NTC 2083, NTC 1966, NTC 5193 o NTC 172. Igualmente debe probarse el máximo contenido de humedad.

k. Los postes de madera, concreto u otro material no deben presentar fisuras u otras anomalías que con el tiempo puedan comprometer sus condiciones mecánicas.

l. Los postes o torrecillas metálicas o de otros materiales susceptibles a la corrosión deberán ser protegidos contra esta y garantizar una vida útil no menor a 25 años, Normas como la ASTM – A 123, ASTM B 633, ASTM A 653, ISO 9223 son plenamente aplicables para verificar este requisito de protección contra corrosión.

m. Los postes o estructuras metálicas deben instalarse una puesta a tierra, excepto los destinados a baja tensión.

n. Rotulado: Los postes y torrecillas deben llevar en bajo relieve o en una placa visible, embebida al concreto si es de concreto, localizada a dos metros de la señal de empotramiento, la siguiente información:

- Nombre o razón social del fabricante,
- Longitud del poste o torrecillas en metros
- Carga mínima de rotura en N o kgf
- Peso del poste.
- Fecha de fabricación.

Parágrafo 1. Los postes de concreto se deben aceptar en cualquiera de sus formas (tales como tronco de cono, tronco de pirámide o sección en I) y técnicas constructivas (armado o pretensado, vibrado o centrifugado); siempre y cuando cumplan los anteriores requisitos que les aplique.

Parágrafo 2. Cuando el poste quede instalado en lugares aledaños a vías de alta velocidad vehicular, susceptibles de ser impactados por vehículos, los usuarios deberán determinar y utilizar la tecnología constructiva que presente el menor riesgo para pasajeros y vehículos

3.5 CONCRETO PARA CIMENTACIÓN DE POSTERÍA

El concreto estará compuesto esencialmente de arena, grava, cemento y agua. No debe contener materiales extraños susceptibles de menoscabar su calidad. La cantidad de cemento no podrá ser menor de 400 kg x metro cúbico de concreto

puesto en obra. El agua debe ser limpia y estar libre de sustancias alcalinas y materia orgánica en cantidades perjudiciales.

3.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS CRUCETAS ANGULARES METÁLICAS Y LOS SOPORTES

3.6.1 Características constructivas.

➤ MATERIALES

Los aceros utilizados en la fabricación de las crucetas y soportes serán de calidad ASTM A500 GRADO B ó superior. Los tornillos deberán ser de calidad conforme a lo establecido en la norma ASTM A307 y ANSI C135.1 y de las dimensiones indicadas en la norma ANSI B18.2.1. Las tuercas deberán ser de calidad conforme a lo establecido en la norma ASTM A563 y ANSI C135.1 y de las dimensiones indicadas en la norma ANSI B18.2.2. Las arandelas deberán de ajustarse a las dimensiones indicadas en la norma F606M-98.

➤ FABRICACIÓN

Si las características de fabricación del ofertante difieren a las indicaciones especificadas, éstas deberán de reflejarse en la lista de excepciones que se adjuntará en la documentación a presentar con la oferta. El material debe estar libre de rebabas o cualquier otro defecto que impida el contacto perfecto entre piezas a unir. El forjado y enderezado de las piezas deberá de realizarse en máquina, por presión y no por choque .Las operaciones de conformación podrán realizarse en frío o en caliente. Los agujeros se realizarán siempre con taladro y a diámetro definitivo salvo en los agujeros en que sea previsible rectificación para coincidencia. La pieza se suministrará preparada para su instalación en obra, sin necesidad alguna de manipulación de la misma. Tanto los perfiles como los tornillos, tuercas y arandelas, estarán protegidos contra la oxidación por una capa

de zinc obtenida por galvanización en caliente de acuerdo con la especificación técnica correspondiente.

El galvanizado de los perfiles laminados se realizará conforme a lo establecido en la norma ASTM A123. El galvanizado de tornillos, tuercas y arandelas se realizará conforme a lo establecido en la norma ASTM A153, grado B.

3.6.2 Características dimensionales.

Las dimensiones y las tolerancias de los perfiles de acero laminado se ajustarán a lo establecido en las normas ASTM A6/A6M. Las dimensiones y las tolerancias de los elementos roscados se ajustarán a lo establecido en las normas ANSI B1.1 y ANSI B18.2.1 y ANSI B18.2.2. Las tolerancias de las piezas que constituyen el conjunto serán las siguientes:

- Sobre centros de taladros de grupos diferentes: $\pm 1,5$ mm
- Sobre centros de taladros de mismo grupo: $\pm 1,2$ mm
- Sobre gramiles: $\pm 0,7$ mm
- Sobre desplazamiento de una cara sobre la otra: $\pm 0,7$ mm

El resto de cotas tendrán una tolerancia de 1% sobre los valores reflejados en los planos de dimensiones. Deberá de tenerse en cuenta, que estas tolerancias son en el nivel de pieza y que las piezas entre sí se deberán ensamblar de tal manera que sea innecesario el uso de escariador. Los taladros para la PAT serán de diámetro 13,5 mm (17/32").

En la Mojana se usaron crucetas de 1,5 metros

3.7 LEVANTAMIENTOS DE APOYOS EN LA MOJANA SUCREÑA

Para empezar a sembrar apoyos o postes un se empieza con la construcción de las cepas, la cuales se deben delimitar con señalización con cinta alrededor del perímetro para evitar accidentes lamentables, puesto que si ocurre una tragedia que involucre al cualquier ser viviente tanto humano o animal, el constructor es el responsable directo y corre con todas la consecuencias de ley.

Después de la construcción de las cepas se procede a hincar los apoyos, para lo cuál se utilizarán grúas mecánicas y neumáticas como las mostradas en las fotografías 2 y 3

Foto 2 Grúa Mecánica



Fuente: Autor

Foto 3 Grúa de brazo o neumática



Fuente: Autor

Después de hincado el apoyo se ve muestra en la fotografía 4

Foto 4 Apoyo desnivelado



Fuente: Autor

El paso siguiente consiste en nivelar el apoyo. El trabajo de nivelación se puede decir que es un trabajo artesanal donde juega la malicia del trabajador para ello, puesto que no existe un patrón ni una técnica definida para esta operación. No se

puede usar la plomada porque el apoyo no es un cilindro recto⁵. En la fotografía 5 se muestra como debe quedar el apoyo después del trabajo de nivelación. Obviamente se debe señalar el apoyo.

Foto 5 Apoyo nivelado



Fuente: Autor

Se procede al trabajo de sedimentación de los apoyos después de su nivelado. En la Mojana se utilizaron materiales de la región como la china que es el nombre que se le da al cascajo o piedra pequeña, el cemento se traía del interior del país y junto con el agua proveniente de la región se preparaba el concreto para sedimentar los apoyos.

Foto 6 Sedimentación de apoyos



Fuente: Autor

⁵ Ojo ingenieros no caigan en esta trampa porque se darán cuenta que eres nuevo en el oficio de construir líneas.

El resultado final de del empotramiento del apoyo se puede ver en la fotografía 7

Foto 7 Sedimentación final de apoyos



Fuente: Autor

En la Mojana Sucreña se levantaron apoyos de las siguientes características:

- apoyos de 12 metros y resistencia de 1050 kilogramos fuerza en la punta del apoyo y un peso aproximado de 1460 kilos. Estos fueron utilizados para retención, ángulo, anclaje, centros de transformación,
- apoyos de 10 metros y resistencia de 510 kilogramos fuerza en la punta del apoyo y un peso 770 kilos. Estos fueron apoyos de paso,
- apoyos de 9 metros y resistencia de 510 kilogramos fuerza y un peso aproximado 640 kilos. Estos fueron utilizados cuando la línea de baja tensión pasaba por debajo de la línea de media tensión.

CAPÍTULO 4

TENDIDO DE LA LÍNEA

4.1 COLOCACIÓN DE LOS HERRAJES

Todos los herrajes deberán ir de manera que se facilite su inspección y que su reemplazo quede instalado en forma segura. Los aisladores de pin deberán quedar perpendiculares a la superficie de la cruceta o del poste.

Las cadenas de aisladores de suspensión deben ajustarse para que queden en el plano vertical que pasa por el centro del apoyo. Utilizar collarín o dos tornillos de máquina abrazando el apoyo en montajes en segundo nivel para los cuales posiblemente el apoyo ya no posea las perforaciones indicadas o debido a un giro en la orientación de las crucetas. Lo mismo se tendrá presente en el caso de instalación de bayonetas sobre estructuras metálicas, caso en el cual se emplearán las perforaciones que las estructuras deben poseer para tal fin, de acuerdo con el diseño previsto para ello.

4.2 MONTAJE DE CORTACIRCUITOS

Los cortacircuitos primarios serán instalados sobre crucetas metálicas fabricadas con ángulo de hierro de 2" x ¼" con dos longitudes básicas: 1,5 m para uno o dos cortacircuitos y 2,3 m para tres cortacircuitos. Estas crucetas no llevarán dados y se elimina el herraje tipo NEMA A o NEMA B tradicionalmente empleado para crucetas de madera o metálicas con dado. Se empleará únicamente el eje central adosado al aislador del cortacircuito, el cual será sujetado a la cruceta mediante tornillo de máquina de ½" x 1 ½" con doble arandela y guasa. La fijación al poste se hará mediante un tornillo en "U" galvanizado en caliente de 18 cm o superior y un pie de amigo de 42" para garantizar su estabilidad. La cruceta portacaja de 1,5

m llevará pie de amigo instalado en forma invertida en su parte inferior y será instalada “tomando agua” (“L” hacia arriba).



Figura13 Cortacircuitos

Fuente: Ingeniero Asdrúbal Hernández eléctrica mexicana

4.3 UTILIZACIÓN DE HERRAJES SOMETIDOS A ESFUERZOS GRANDES DE TRACCIÓN

En las estructuras típicas para líneas de distribución se han especificado diámetros de 5/8" para los tornillos de máquina, espaciadores y tuercas de ojo que transmiten los esfuerzos de los conductores a las crucetas o brazos de las estructuras. Teniendo en cuenta el esfuerzo admisible de trabajo en dichos elementos en las estructuras de retención, el límite de empleo de éstos viene a ser, para conductores ACSR N° 4/0 AWG o su equivalente, de 3 820 kg de carga de ruptura. En consecuencia, para calibres superiores al 4/0 será necesario especificar tornillos de máquina, espaciadores y tuercas de ojo de 3/4" en lugar de los de 5/8".

4.4 UTILIZACIÓN DE ARANDELAS

4.4.1 Arandelas redondas.

Se emplearán arandelas redondas galvanizadas en caliente, una por cada punto de ajuste(cabeza) o tuerca de tornillo de máquina sobre cruceta o poste, lo cual indica que serán empleadas cuatro por cada tornillo espaciador y dos por cada tornillo de máquina.

4.4.2 Arandelas de presión.

Una por cada tuerca del tornillo, en la dimensión apropiada. El tornillo espaciador llevará cuatro en consecuencia. Es obligatorio su empleo. Deben ser construidas en acero galvanizado en caliente.

4.5 TENDIDO DE LOS CONDUCTORES

Los conductores deben regarse sobre el piso usando los carretes del empaque y luego izarse hasta las poleas o apoyos provisionales de tendido. Los soportes de los carretes de conductores deberán ser de construcción fuerte, y se proveerán medios para poder frenar los carretes. Los conductores deberán desenrollarse en la dirección y forma indicados por los fabricantes, en los empaques y carretes. Se evitará en lo posible el traspaso de cables de un carrete a otro. Los cables de izaje deberán conectarse a los conductores por medio de conectores giratorios y mordazas. Las distancias de los conductores entre sí y a las estructuras, sin viento y a la temperatura de tendido, deberán estar de acuerdo con las distancias de seguridad. Los carretes de conductor solamente podrán ser rodados en la dirección indicada en la flecha. En general los carretes de cables deberán ser cargados, transportados y descargados con cuidado, en tal forma que no se quiebren ni desbaraten y que el conductor no se abolle.

En el proceso de regada de los conductores, con cualquier sistema que se utilice para esta labor, se debe evitar que los conductores formen entorches, dobladuras, torceduras, desgastes o carrujas. En caso de presentarse tal hecho, con deterioro del conductor, se cortará este y se hará un empalme. En ningún caso se deberán arrastrar sobre las crucetas ni elementos de apoyo.

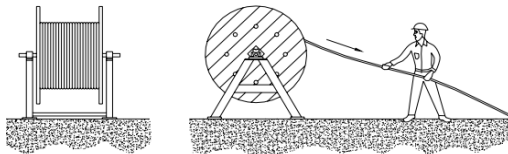


Figura 14 Tendido de conductores

Fuente: PDF comisión federal de electricidad

Para el proceso de tendido de los conductores, se deberán instalar protecciones adecuadas de madera, sobre las cuales el conductor se pueda deslizar sin sufrir averías ni dañarse y así protegerlo del paso sobre rocas, alambres de púas, rieles, tráfico de personas y animales.

Cuando se crucen vías, los conductores deberán pasarse sobre andamios de madera o poleas adecuadas, suficientemente altas sobre la vía, a fin de protegerlos de ser pisados por los vehículos y no obstaculizar el tráfico.

Todas las secciones de conductores que hayan sufrido daño por la aplicación de mordazas deberán repararse antes de instalar los conductores en su sitio.

En los cruces con líneas eléctricas primarias y secundarias, energizadas o no, deberán hacerse andamios suficientemente altos y resistentes que permitan el paso de los conductores en tal forma que no hagan contacto con las líneas de distribución.

En pendientes fuertes el cable debe correrse de la parte alta hacia la parte baja reduciendo un poco la tensión a medida que se va pasando de la luz superior a la inferior, con el fin de que ésta no se corra hacia las luces inferiores. En las operaciones de tensionado debe amarrarse el conductor en cada una de las crucetas para así poder tener la diferencia de tensión entre una y otra luz.

Los conductores se colocarán en las poleas tan pronto como sea posible y se levantarán tensionándolos, teniendo en cuenta de no sobrepasar la tensión especificada.

Para levantar los conductores sin tensión hasta las poleas colocadas en los brazos de las crucetas, se deberán usar manilas y no ganchos de ninguna especie. Para levantar conductores con tensión, siempre deberá usarse un soporte amplio y redondeado, o una grapa de suspensión para evitar los quiebres y daños del conductor. No se permitirá el uso de cadenas para amarrar el conductor al levantarlo.

El constructor deberá tener en cuenta las cargas del diseño de las estructuras de apoyo y tomar las precauciones del caso para hacer los amarres y templetes de las estructuras.

4.6 TEMPLADO DE CONDUCTORES

El templado de los conductores no deberá ejecutarse cuando las condiciones del ambiente (visibilidad y viento principalmente) no garanticen la obtención de las flechas o tensiones apropiadas.

Para la instalación de los conductores se usarán poleas especiales tipo bisagra la cual es una polea sencilla que se abre por un lado permitiendo insertar o retirar los conductores sin tener que insertarlos por su punta.

Este tipo de polea también es necesaria en caso de que la línea esté equipada con aisladores en suspensión pues no habría donde descansar los conductores, los cuales no podrán colocarse directamente en las cadenas de aisladores, o en la cruceta.

Los conductores no deberán pretensionarse y su templada se hará con base en la información y tablas previstas para tal efecto, utilizando dinamómetros o elementos de control adecuados para este objeto. La longitud máxima de conductor que se tienda en una operación continua, debe limitarse a la que produzca la flecha máxima satisfactoria.

Durante el tensionamiento de los conductores se tendrá especial cuidado en no sobrecargar los elementos del apoyo, para lo cual deberán reforzarse convenientemente por medio de templetas provisionales.

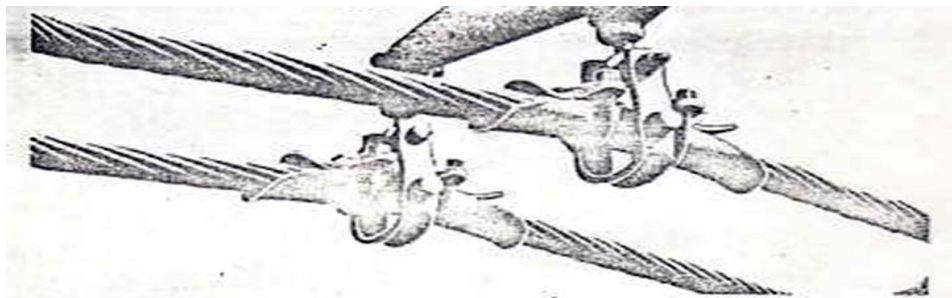


Figura 15 Templado de conductores

Fuente: Ingeniero Andrés Ordaz transporte de energía

Los tres conductores de circuito deberán tensionarse en el mismo día, a fin de evitar diferencias causadas especialmente por elongaciones progresivas, que son

muy rápidas durante las primeras 24 a 48 horas. No se permitirá tensionar los conductores desde la base de apoyo en línea vertical con las crucetas.

El conductor debe tenderse de acuerdo con la flecha y cuadro de tensión aplicable al que se use y la temperatura ambiente, la cual debe certificarse con un termómetro para usar los valores de la flecha correspondientes a esta temperatura.

El enflechado debe ajustarse en el tramo de en medio en pequeñas secciones de cinco (5) tramos o menos y en dos (2) ó más tramos mayores. Los conductores se enflechan correctamente sólo cuando la tensión es la misma en cada tramo a lo largo. Cuando los conductores se halan sobre aisladores, crucetas, etc , hay fricción en los puntos de apoyo. La fricción reduce la tensión del conductor progresivamente desde el extremo donde se hala hasta el remate. El uso de poleas, particularmente en ángulos, tiende a reducir esta fricción.

Aún cuando se usen poleas puede ser necesario hacer brincar el conductor en puntos intermedios con una cuerda de mano para compensar la tensión en los diferentes tramos. A veces también se enjabonan las ranuras en los soportes para que el conductor se deslice libremente.

4.7 COMO ACONDICIONAR UN CONDUCTOR NUEVO

Cuando se instala un conductor nuevo es necesario dejar que se estire lo cual es inherente a todos los conductores por medio de cualquiera de los siguientes procedimientos:

- Estirando con anterioridad el conductor para quitar el estiramiento no elástico y acondicionarlo de acuerdo con los valores de tensión y flecha.

- Hacerlo de acuerdo con los valores iniciales de flecha y tensión que han sido calculados para obtener la flecha y los valores de tensión después de someter el conductor a las cargas especificadas para la región de carga en la cual está ubicado el conductor.

Cuando se usa el método de pre-estiramiento se debe emplear un dinamómetro. Se deberá confirmar la tensión en un tramo cerca del extremo lejano de la sección que está siendo halada para cerciorarse que toda la sección está sujeta a la tensión correcta de pre estiramiento.

Después, se puede reducir la tensión inmediatamente y aflojar el conductor hasta alcanzar el flecheo final adecuado en el extremo lejano de la sección. El mismo tramo se debe usar para verificar la tensión de pre-estiramiento y la final. El conductor se hala arriba por el extremo de tracción hasta lograr la tensión necesaria después de lo cual se puede hacer un remate o sujetar los conductores con tensores y amarrar la línea.

Si se sigue el segundo procedimiento, es decir, colocar los conductores con flechas y tensiones iniciales sin preestirar, se debe tener cuidado de no esforzar el conductor demasiado. Los valores iniciales de flecha y tensión ya no serían los correctos si la tensión excediera el valor indicado en los cuadros iniciales o tablas. Por lo tanto, se debe halar arriba el conductor al pandeo inicial especificando en el tramo que está siendo verificado.

Se debe aplicar la carga con malacate automático u operado a mano y nunca sujetándolo directamente a un camión o a un tractor. Después de halar arriba hasta lograr el flecheo adecuado a todo lo largo en toda la sección se puede rematar el conductor o sujetar con tensores y amarrarse.

El equipo y los métodos usados para la tensión de los conductores debe ser tal que no produzca daños en los mismos y estará sujeto a la aprobación del interventor. Se deberán tomar precauciones especiales para evitar que en ninguna forma en los cables se presenten arrugas, retorcidos o talladuras.

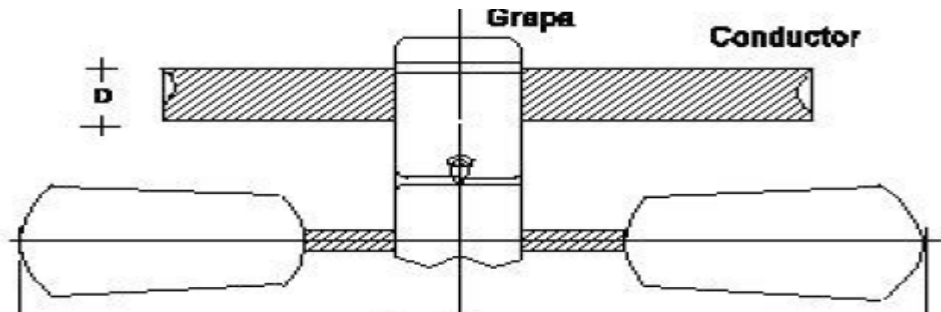


Figura 16 Conductor Nuevo

Fuente: Ángel Ordoñez Ingeniería canaria

Las flechas serán uniformes en cada luz y las distancias entre conductores de las fases serán las mismas en la mitad de la luz que en los postes.

Los conductores se asegurarán en las respectivas grapas tan pronto como las operaciones de tensionado hayan terminado para evitar posibles corrimientos del cable, debido a las vibraciones producidas por el viento.

4. 8 RECOMENDACIONES PARA TENER EN CUENTA

A continuación se presentan algunas recomendaciones a tener en cuenta en el manejo de conductores para líneas de distribución:

- El conductor no debe ser arrastrado sobre campos recién abonados.
- Las herramientas y aisladores que hayan sido usados anteriormente con conductores de cobre, deberán ser limpiados de cualquier polvo o residuo de este metal.

- Para el templado de los conductores se deben emplear siempre entenallas especiales para templar conductores de aluminio, las cuales tienen una superficie de agarre mayor que las empleadas para conductores de cobre (que pueden estrangular los cables de aluminio, reduciendo su conductividad eléctrica y su resistividad mecánica).
- Las superficies de contacto para el aluminio han de ser mayores que en el caso de los conductores de cobre. Debido a la influencia que el oxígeno tiene sobre el aluminio, la parte externa de la unión está recubierta con una capa aislante del óxido. Esta deberá ser quitada de las puntas del conductor, antes de hacer la unión, utilizando papel de lija, viruta de alambre o cepillo rascador. La continua oxidación podrá ser evitada utilizando una gran presión en las superficies de contacto y pintando las puntas del conductor con cromato de zinc o pasta de aluminio, rellenando después las ranuras laterales y finales de la grapa con la misma pasta.
- El caso de derivaciones o ramales está regido por las anteriores recomendaciones. La presión de contacto habrá de ser más bien fuerte, pero sin llegar a dañar los alambres.
- Se debe tener cuidado con las derivaciones por poder llegar a tener una gran fuerza de tracción mecánica.
- Las ranuras de la grapa y el conductor han de estar bien limpias de polvo y óxido, antes de la operación de unión y habrán de ser cubiertas con pasta protectora (cromato de zinc) a fin de prevenir la oxidación.
- Las ataduras o ligazones en los aisladores de pin, de suspensión y de ángulo deben estar protegidas mediante la utilización de varillas de protección o cintas de aluminio, que se colocarán entre los aisladores y la ligadura.
- En los vanos grandes o de distancias superiores a 250 metros, es necesario utilizar amortiguadores para absorber parte de la energía de la vibración eólica. Su instalación debe efectuarse de acuerdo con las

recomendaciones del fabricante del as mismas y del fabricante de los conductores.

- En especial se tendrá la precaución de mantener los sectores de la línea ya terminados debidamente conectados a tierra, con conexiones a intervalos no mayores de 2 km. Los puentes deberán dejarse abiertos para que la línea quede seccionada; tanto las descargas a tierra como los puentes abiertos deberán quitarse y las operaciones de templado de cables deberán suspenderse durante las tormentas eléctricas.

4.9 CONEXIONES PROVISIONALES A TIERRA

La línea deberá mantenerse bien protegida, con conexiones provisionales a tierra durante el período de construcción, con el fin de evitar los peligros que descargas atmosféricas pueden generar al personal encargado de la construcción de la obra.

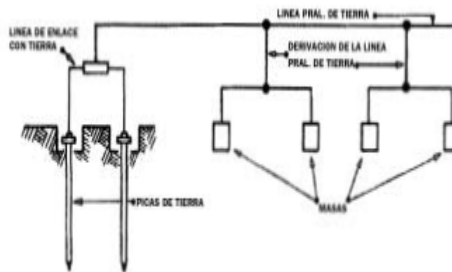


Figura 17 Pat provisional

Fuente: Ingeniero Angulo Posada Puestas a tierra

4.10 AMARRE DE CONDUCTORES SOBRE LOS AISLADORES DE PIN

Los conductores deben estar colocados en el aislador de manera que produzcan el menor esfuerzo en el cable de amarre. La función del alambre de amarre consiste solamente en sostener el conductor en posición en el aislador, dejando que el aislador y el alfiler tomen la tensión del conductor.

La ranura superior del aislador de pin prácticamente releva al alambre de amarre de cualquier esfuerzo y permite que todo el esfuerzo lo reciban el aislador y el espigo.

En las esquinas y ángulos donde los cables no están rematados, se deben colocar los conductores hacia el exterior de los aisladores en el lado retirado del poste y en el interior de los aisladores en el lado cercano del poste, sin importar el tipo de aislador empleado. De ésta manera, la tracción del conductor está contra el aislador empleado en vez de estar afuera del aislador.

Los amarres para sujetar los conductores a los aisladores tipo pin deben ser relativamente sencillos y fáciles de aplicar. Se debe sujetar el conductor fuertemente al aislador y además reforzar el conductor a ambos lados del aislador. Cualquier aflojamiento entre el conductor, el amarre y el aislador puede rozar y dañar el conductor. Estos amarres deben ser hechos a mano y sin empleo de pinzas o alicata alguno y conservando cuidadosamente la longitud y medida adecuada del alambre completamente templado, especificado para cada conductor.

4.10.1 Clase de alambre a utilizar.

El alambre de amarre debe ser de la misma clase que el del cable de la línea. Se emplearán espiras de alambre del mismo conductor tendido. Los alambres de amarre de cobre se deben usar con conductores de cobre y los alambres de amarre de aluminio se deben usar con conductores de aluminio. Sin embargo, los alambres de amarre deben estar hechos de alambre de templado suave ya que los cables estirados en frío resultarían quebradizos y no quedarían ajustados. Asimismo, un alambre de amarre duro puede dañar el conductor. Este alambre de amarre sólo se debe utilizar una sola vez.

4.10.2 Medidas de alambre a utilizar.

A continuación en la tabla 2 se muestra la longitud que debe tener el amarre de acuerdo con el conductor a emplear

Tabla 2. Medida Del Alambre De Amarre

calibre	Longitud(L) m
2	90
1/0	110
2/0	120
4/0	160

Fuente: Manual PDF centrales hidroeléctricas de Caldas

4.10.3 Reglas para un buen amarre.

Algunas recomendaciones para lograr un amarre de buena calidad se listan a continuación:

- Se usa sólo alambre completamente templado.
- Se usa la medida que se pueda manejar fácilmente y que al mismo tiempo proporcione la fuerza necesaria.
- Se usa la longitud suficiente para hacer el amarre completo, incluyendo un sobrante para agarrar con las manos. Lo que sobre debe cortarse de cada extremo después de completar el amarre.

Además un buen amare debe:

- Sujetar firmemente el cable, el aislador y el alambre.

- Tener contactos positivos entre el cable de la línea y el alambre de amarre para evitar rozamientos.
- Se aplica sin el uso de pinzas.
- No se debe mellar el cable de la línea.
- No se deben usar alambres estirados en frío para amarres o cable quemado a fuego que normalmente está templado parcialmente o que ha sido dañado por el sobrecalentamiento.

Algunos tipos de amarre en las siguientes figuras

En las figuras 18 a 21 se muestran los diferentes tipos de amarre que se encuentran en la práctica

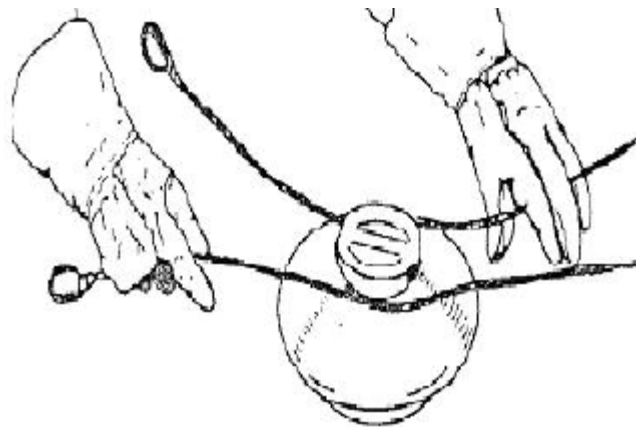


Figura 18 Amarre en el pin

Fuente: PDF Centrales hidroeléctricas de Caldas

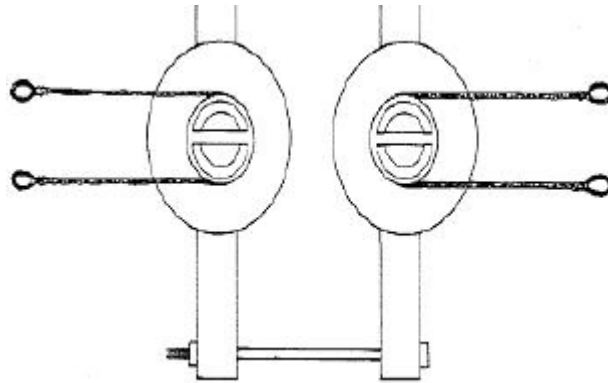


Figura 19 Amarre en doble pin

Fuente: PDF Centrales hidroeléctricas de caldas



Figura 20 Sujeción De los Alambre De Amarre

Fuente: PDF Centrales hidroeléctricas de Caldas

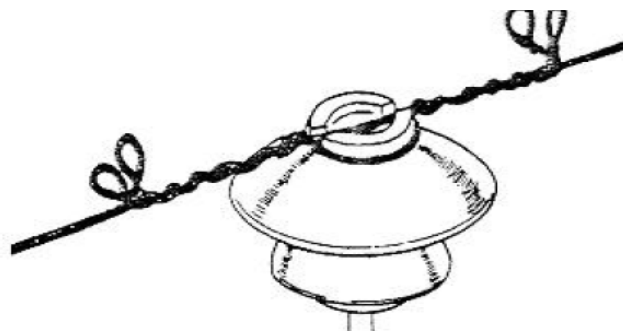


Figura 21 Amarre Finalizado

Fuente: PDF Centrales hidroeléctricas de Caldas

4.11 PRUEBA DE LÍNEA

Una vez terminada la construcción de la línea debe efectuarse una revisión física de la misma, estructura por estructura, verificando que los elementos de cada una de ellas hayan sido colocados correctamente, que las conexiones se encuentren correctas y que no haya contactos a tierra, de los conductores o entre los conductores entre sí.

Igualmente se debe verificar que el despeje de la zona de línea haya sido efectuado convenientemente. Una vez efectuada ésta inspección ocular se debe proceder a verificar el aislamiento y continuidad de la línea en cada una de sus fases utilizando un medidor de aislamiento de capacidad adecuada, aislando previamente cada uno de los extremos de la línea.

A continuación se describen los equipos utilizados en el proceso de prueba de la línea:

a. MEGÓHMETRO ELECTRÓNICO DE ALTA TENSIÓN HASTA 20 kV: este equipo es especialmente indicado para probar la resistencia de aislación en las líneas de transmisión y distribución de media tensión, aéreas o subterráneas, ya que permite realizar la prueba con tensiones próximas a las de trabajo. También es un excelente auxiliar en la detección de fallas de aislación en cables.

Foto 8 Megohmetro

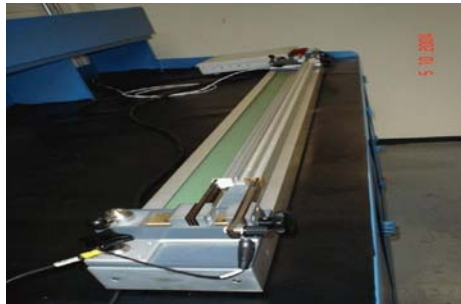


Fuente: Ingenieros Short www.Megabras.com

b. Puente de Wheatstone:

Esta prueba permite determinar que en conjunto la cantidad del metal conductor (cobre o aluminio) y la conductividad del mismo, resulten en una resistencia eléctrica del conductor especificada para cada calibre la figura 9 muestra el equipo a utilizar para esta prueba

Foto 9 Aparato para prueba de conductividad



Fuente: Ingenieras ELKA www.elka.com

Si las anteriores pruebas. Continuidad en la línea, e inspecciones oculares para que las conexiones se encuentren correctamente y no hay contactos a tierra resultan entonces se puede energizar la línea.

En el caso de que durante la prueba se detecten fallas, debe procederse a seccionar la línea, aislando tramos, con el fin de encontrar más rápidamente las fallas y proceder a la corrección de las mismas hasta obtener el funcionamiento normal de las líneas. Dichas pruebas se deben realizar también en líneas subterráneas.

4.12 LEVANTAMIENTOS DE APOYOS EN LA MOJONA SUCREÑA

Después de empotrado el apoyo se procedió a vestirlo poniendo inicialmente la crucetería, para luego instalar los aisladores. Después de este paso se empieza el tendido de cable. Se disponen las cuadrillas para ese trabajo, además de personal especializado en el tendido de los cables. La persona que se encarga del

tendido debe ser un liniero⁶, puesto que no cualquier obrero o técnico puede hacer este trabajo, debe ser una persona con experiencia en tendido de redes; y con la reglamentación del Ministerio de Minas, además debe presentar certificados de capacitación de trabajos en altura expedidos por ejemplo por el SENA. Se realizan los amarres o vientos que el apoyo necesite llevar como se muestra en la fotografía 10, donde se observa el apoyo con sus respectivos amarres.

Fotografía 10 Apoyo con amarres



Fuente: Autor

Los trabajadores inician el trabajo moviendo los carretes de cable, escogiendo un punto de inicio para empezar el tendido de cable. En la fotografía 11 se aprecia este procedimiento

Fotografía 11 Carretes de cable



Fuente: Autor

⁶ Liniero: persona encargada y con experiencia para el tendido de redes

En la fotografía 12, se aprecia como el personal capacitado se suben a los apoyos para iniciar el tendido de los cables.

Fotografía 12 Liniero en actividad



Fuente: Autor

Las fotografía 13 muestra el procedimiento del tendido de los conductores, específicamente en la región de la Mojana sucreña.

Fotografía 13 Tendido de conductores



Fuente. Autor

Fotografía 14 Arrastre de conductores



Fuente. Autor

Posteriormente se procede al templado de conductores usando poleas como se ve en las siguientes fotografías 15,16

Fotografía 15 Poleas En El Templado De Conductores



Fuente: Autor

Foto16 Templado de conductores



Fuente: Autor

El siguiente paso consiste en el amarre de conductores, procedimiento que se ve en la fotografía 17

Fotografía17 Amarre del conductor a los aisladores



Fuente: Autor

por último la red tendida en su totalidad se aprecia en la fotografía 18

Fotografía 18 Tendido Final de la línea



Fuente: Autor

CAPÍTULO 5

PUESTA A TIERRA (PAT) Y PROTECCIONES

5.1 DEFINICIONES.

5.1.1 Puesta a tierra.

Por puesta a tierra se entiende el aterramiento físico ó la conexión de un equipo a través de un conductor hacia tierra. La tierra está compuesta por muchos materiales, los cuales pueden ser buenos o malos conductores de la electricidad, pero, la tierra como un todo es considerada como un buen conductor. Por esta razón y como punto de referencia, al potencial de tierra se le asume cero. La resistencia de un electrodo de tierra, medido en ohmios, determina que tan rápido, y a que potencial, la energía se equipara. De esta manera, la puesta a tierra es necesaria para mantener el potencial de los objetos al mismo nivel de tierra.

La puesta a tierra debe ser única para cable de guarda, neutro, descargadores de sobretensión y carcasa del transformador.

En todos los casos cuando la estructura sea poste de concreto se empleará cable de cobre desnudo, con calibre no inferior al 4 AWG, tendido sobre la estructura en línea totalmente recta desde el punto de conexión en el cable de guarda o en los descargadores de sobretensión hasta su conexión con la varilla de puesta a tierra. Para la conexión del cable de tierra al de guarda se empleará un conector bimetálico de compresión ó de cuña (debidamente certificado), conectado al guarda mediante el sistema de "colilla" ó estribo, por el cual se empalma un tramo de cable de aluminio ASC al cable de guarda ó al neutro y al cable de tierra empleando el conector bimetálico.

El conductor de tierra será protegido en postes de concreto existentes en los tres metros inferiores empleando un tubo conduit metálico de 1/2" x 3 m sujetado a la estructura mediante tres amarres con cinta band-it de 5/8".

Los postes nuevos de proyectos bajo diseño dispondrán de tubería conduit PVC interna para tal fin.

Cuando se trata de torres metálicas se dispondrá a 10 cm de su punta, a 2,0 m del empalme y a 2,0 de su base de aletas en platina de 1" x 1" x 1/4" y de 3" de longitud con perforación para sujeción mediante conector del cable de puesta a tierra. Tales platinas estarán soldadas al montante por su parte interna por cuatro bordes. Tendrán perforación de 9/16".

La conexión de la bajante a tierra y la varilla se hará utilizando soldadura exotérmica ó un conector especial tipo cuña debidamente certificados por la entidad acreditada ante la Superintendencia de Industria y Comercio.

Se emplearán electrodos de puesta a tierra de acero galvanizado en caliente ó con recubrimiento de cobre electrodepositado ó enchaquetado en frío de 5/8" x 2,40 m como mínimo. La varilla no puede ser golpeada al enterrarla, debiéndose aplicar agua para lograr su deslizamiento. El electrodo será instalado a una distancia no inferior a 1,0 m, medida desde la estructura soporte. Alrededor de la estructura se construirá una circunferencia de igual radio con cable calibre 4 AWG que será llevada igualmente a la varilla, junto con el conductor bajante de tierra.

Para disminuir la resistencia de puesta a tierra en caso de requerirse, se emplearán electrodos adicionales separados una distancia como mínimo igual a la longitud del electrodo (preferiblemente de 15 m) y conectados con cable de igual calibre. De no obtenerse los resultados esperados de resistencia de puesta a tierra, se procederá a mejorarla con contrapesos a una longitud de 30 m,

preferiblemente en dirección de la zona más húmeda en cuyo extremo se conectará una varilla de puesta a tierra. Se harán contrapesos hasta tener el valor en ohmios deseado. El valor de la resistencia de puesta a tierra medido en cualquier apoyo de la línea es de 25 Ω . En razón a que la resistencia de puesta a tierra es un indicador que limita directamente la máxima elevación de potencial y controla las tensiones transferidas, pueden tomarse como referencia los valores máximos de resistencia de puesta a tierra de la tabla No 3, adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552 las cuales fueron tenidas en cuenta por el RETIE.

Tabla 3. Valores De Referencia Para Puesta A Tierra

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA, Ω
Estructuras de líneas de transmisión o torrecillas metálicas de distribución con cable de guarda	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1
Subestaciones de media tensión.	10
Protección contra rayos.	10
Neutro de acometida en baja tensión.	25

Fuente: RETIE

5.1.2 Electrodo de puesta a tierra.

La tabla No 4 especifica las características de los electrodos según el RETIE. Para efectos de este Reglamento será de obligatorio cumplimiento que los electrodos de puesta a tierra, cumplan los siguientes requisitos, adoptados de las normas IEC 60364-5-

54, BS 7430, AS 1768, UL 467, UNESA 6501F y NTC 2050:

Tabla 4. Requisitos para electrodos de puesta a tierra

Tipo de electrodo	Materiales	Dimensiones Mínimas			
		Diámetro mm	Área mm ²	Espesor mm	Recubrimiento μm
varilla	Cobre	12.7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado En caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total de cobre	15			2000
tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55
fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincaso		50	2	40
cable	Cobre o cobre estañado	1.8 cada hilo	50		
	Acero galvanizado en caliente	1.8 para cada hilo	70		

placa	Cobre		2000	1.5	
	Acero inoxidable		200	6	

Fuente: RETIE

Por situaciones externas a la construcción como el robo de cobre que es altamente perseguido para vender en chatarrerías, en el proceso de la construcción de las líneas de transmisión en la región de la Mojana sucreña, se procedió a implementar la cinta band y el electrodo de acero en las pat, que se muestra en las siguientes fotografías

Fotografía No 19 Puesta a tierra



Fuente: Autor

Fotografía No 20 Puesta a tierra



Fuente: Autor

5.1.3 Sistema de protección de transformadores de potencia

Un sistema de protecciones es el grupo de equipos y elementos auxiliares que en conjunto garantizan la integridad del transformador y la continuidad y calidad del servicio de energía evitando su deterioro.

La elección de las protecciones de los transformadores MT/BT puede parecer simple porque normalmente su determinación es fruto de las costumbres tradicionales de los diseñadores de redes eléctricas e incluso de exigencias y consideraciones técnico-económicas. De hecho, la elección se hace en función:

- de la tecnología de los transformadores
- de los tipos de cargas que alimentan
- y sobre todo, del entorno en el que trabajan.

Se enumeran los sobreesfuerzos a los que están sometidos los transformadores durante su uso y se valoran sus consecuencias, explicando las diversas protecciones que pueden utilizarse. El desarrollo del mismo transformador se ha tenido que simplificar necesariamente debido a los muchos criterios y soluciones que existen. Las protecciones de los transformadores utilizados ya cuentan con los pararrayos, como se puede observar en las siguientes fotografías.

Foto 21 Dps en transformadores



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

5.1.4 Aisladores

En líneas del nivel de media tensión a 13,2 kV serán empleados dos (2) aisladores de suspensión en porcelana de 6" de diámetro, norma ANSI 52-1 para las estructuras en retención y aisladores tipo pin norma ANSI 55-4, 55-5, 55-6 o 55-7, según el nivel de contaminación ambiental o química, para las estructuras de pin. Podrán también emplearse aisladores tipo poste (Line Post) fabricado bajo la norma ANSI 57- 1 para suspensión, al igual que aisladores en resina polimérica EPDM acordes con la normatividad de materiales. En el caso más crítico, con presencia de elementos químicos y/o centrales térmicas, se emplearán tres (3) aisladores de suspensión de porcelana o dos poliméricos.

En general se ha definido el grado de aislamiento a la relación entre la longitud de la línea de fuga de un aislador (o la total de la cadena) y la tensión entre fases de la línea. La longitud de la línea de fuga de un aislador se mide sobre la superficie del mismo y la de la cadena de aquellos se obtiene multiplicando el número de aisladores por la de uno de ellos.

La tensión entre fases de la línea es la "más elevada", la cual corresponde al mayor valor de la tensión eficaz entre fases que puede presentarse en un instante en un punto cualquiera de la línea, en condiciones normales de explotación, sin considerar las variaciones de tensión debidas a defectos o desconexiones bruscas de cargas importantes.

En el caso de las redes de distribución del nivel de media tensión a 13,2 kV, la tensión más elevada corresponde a 15 kV.

Los grados de aislamiento mínimo, según las zonas que atraviesan las líneas son:

- Forestales o agrícolas..... 2,0 cm/kV
- Industriales..... 2,5 cm/kV

- Industriales con productos químicos..... 3,2 cm/kV

La carga de rotura de los aisladores será como mínimo del 80% de la del conductor que se emplee.

5.2 Normas para aisladores según el RETIE

Según el RETIE se deben cumplir los siguientes requisitos:

a. Los aisladores usados en redes de distribución deberán tener como mínimo las siguientes cargas de rotura:

- Los de suspensión tipo disco, por lo menos el 80% de la tensión de rotura del conductor utilizado.
- Tipo carrete mínima equivalente al 50% de la carga de rotura del conductor utilizado.
- Tipo espigo (o los equivalentes a Line Post) mínima equivalente al 10% de la carga de rotura del conductor utilizado.
- Tipo tensor deberá verificarse que la carga de rotura sea superior a los esfuerzos mecánicos a que será sometido por parte de la estructura y del templete en las condiciones ambientales más desfavorables.

➤

b. Los aisladores deben someterse a mantenimiento. El criterio para determinar la pérdida de su función, será la rotura o pérdida de sus cualidades aislantes, al ser sometidos simultáneamente a tensión eléctrica y esfuerzo mecánico del tipo al que vaya a encontrarse sometido.

c. Los aisladores, usados en distribución deberán demostrar la conformidad con el RETIE mediante un certificado de producto, expedido por un organismo de certificación acreditado por la SIC.

A continuación se muestran fotografías de aisladores y del montaje total de protecciones en la línea.

Foto 22 Aisladores y dps



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

5.3 PAT PROTECCIONES.Y AISLADORES EN LA MOJANA.

En la Mojana Sucreña la línea no conto con protecciones DPS los transformadores utilizados son de baja potencia estos están en el orden 5 Kva y 15 Kva el cual cuentan con un DPS propio.se aterriza la línea y el transformador como se muestran en la siguientes fotos.

Foto 23 Electrodo de puesta a tierra



Fuente: Autor

Foto 24 Cinta band en Acero para la puesta a tierra



Fuente: Autor

Los transformadores son los siguientes los observamos en las fotografías 25

Foto 25 Transformador usado en la Mojana



Fuente: Autor

Los aisladores son de ceramica para 13,8 Kv a continuacion en fotos ellos estan en pacados en bodega por seguridad fotografia 26

Foto 26 Aisladores en cajas



Fuente: Autor

5.4 TRATAMIENTO DIGITAL DE DATOS TOMADOS CON GPS

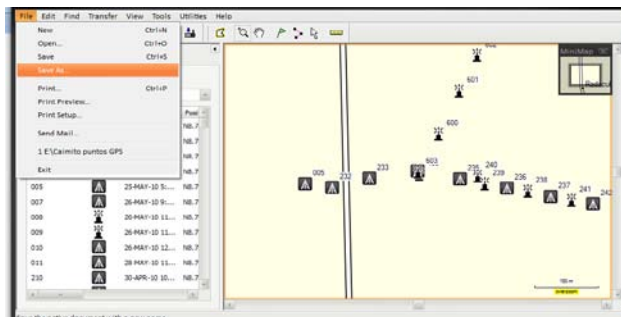
La toma de datos con el gps es de mayor importancia porque con ella tenemos un conocimiento exacto del posicionamiento de los apoyos levantados en la obra por ello la persona encargada de tomar los datos tiene una gran responsabilidad, la toma de datos es un procedimiento sencillo pero tedioso porque se tiene que recorrer la línea e ir marcando con el gps cada uno de los apoyos esto demanda responsabilidad. Pero igual un ingeniero bien entrenado capta si están o no bien tomados los datos esto se ve después de hacer el tratamiento digital de los datos, en el universo de sistemas de posicionamiento global hay una amplia gama de equipos que van desde los más complejos, precisos y costosos hasta los más sencillos pero menos precisos.

5.4.1 toma de datos y tratamiento digital en la Mojana sucreña

El gps utilizado son los comúnmente llamados garmines. Almacenada la información en los los garmines pasamos esta información al computador por lo general referenciamos los puntos donde se encuentran los apoyos como waypoints después de esto se puede hacer un track o trazado en el garmin esto con qué fin si se va a terreno el track le va indicando el posicionamiento del apoyo y le avisa cuando se acerca y le muestra el numero del apoyo y su posición. El

ingeniero que diseña los planos buscara el software más indicado para ello en nuestro caso utilizamos el autocad cuando se descarga la información al computador el garmin permite la descarga en distintos formatos como se trabaja en autacad el archivo guardado en el computador es en formato dxf. El garmin de la posibilidad de escoger coordenadas estas deben ser coordenadas utm el autocad las reconoce de lo contrario no reconoce ninguna. Con esto ya el autocad puede abrir la información guardada en el gps y el ingeniero de diseño puede iniciar su trabajo.

Figura 22 Guardar los datos del garmin en el computador



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

CONCLUSIONES

- El ingeniero antes de comenzar la obra tiene que efectuar un recorrido de la zona en donde esta se va construir, así le permitirá visualizar problemas en el futuro y estar ya atento a su solución. Y tener una visión más clara de cómo efectuar la construcción.
- Hay que tomar muy en serio los factores climáticos consultar el estado del tiempo porque de ello depende si se puede o no continuár la obra, ya que el clima puede parar la obra en seco y esto generara sobrecostos en la construcción.
- El medio ambiente jugará un papel predominante ya que una zona con abundante vegetación dificulta el trazado de la línea.
- La seguridad social de los empleados debe estar al día para evitar sobresaltos ya que una situación catastrófica de un empleado aparece en cualquier momento y si no está asegurado la vida profesional del ingeniero constructor puede darse por terminada.
- No sobredimensionar la línea y tratar en lo que sea posible de colocar cajas de abonados transformadores en los sitios requeridos. Puede suceder en se colocan transformadores de mayor capacidad donde la demanda de energía es baja y de menor capacidad donde la demanda de energía es mayor.

BIBLIOGRAFÍA

RETIE actualizado reglamento técnico para instalaciones eléctricas.

Manual centrales eléctricas de caldas.

Normas de la Comisión Federal de Electricidad de México Distrito Federal

Normas de Codensa.

Reglamento técnico de Electrcaribe.

Internet

www.centelsa.com

www.topocal.com

www.codensa.com

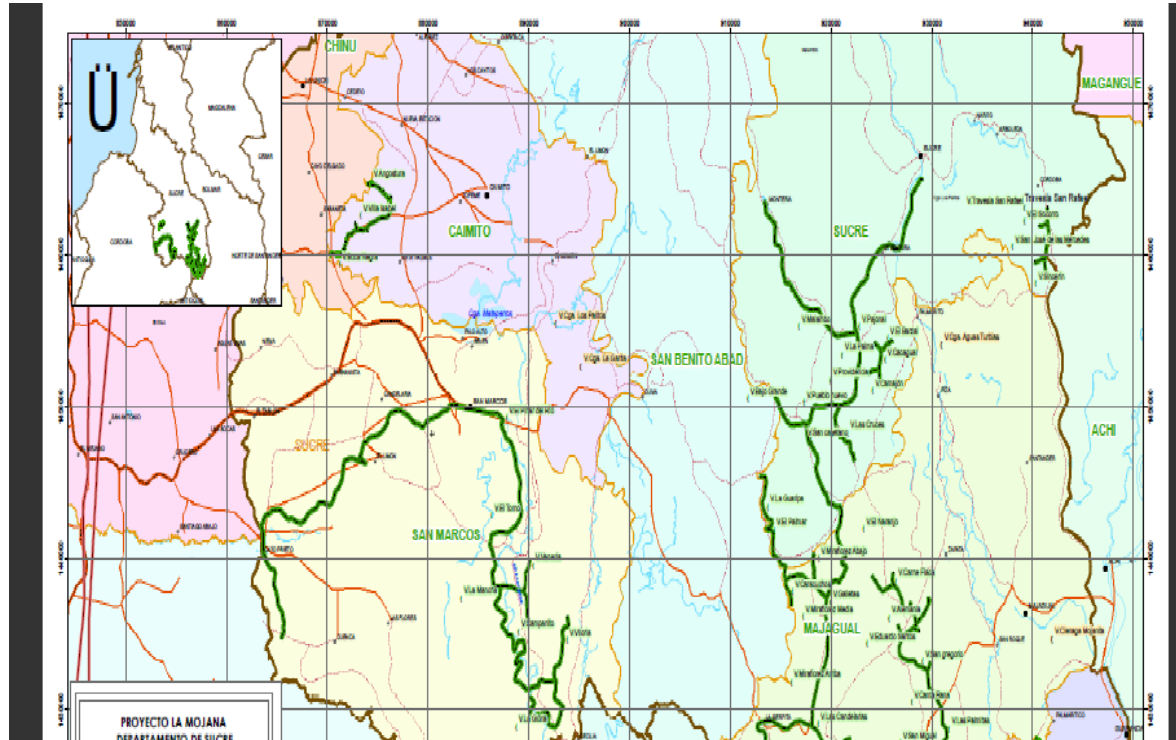
www.electrkaribe.com

www.megabras.com

www.elka.com

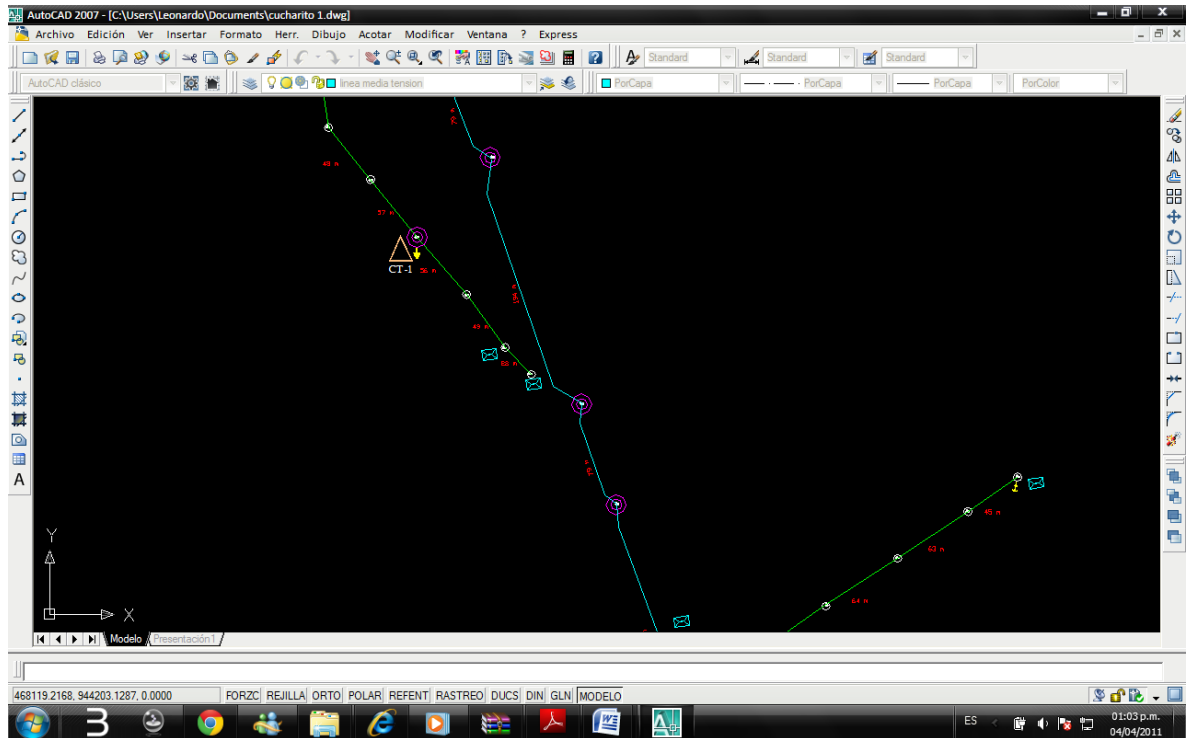
ANEXOS

Anexo A. Localización general proyecto la Mojana departamento Sucre.



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo B. Plano en autocad de la línea en el municipio Caimito.



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo C. Fotos de la línea Construida en caimito



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo C. Fotos de la línea Construida en caimito



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo D. Fotos del quehacer diario de la obra



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo D. Fotos del quehacer diario de la obra



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo D. Fotos del quehacer diario de la obra



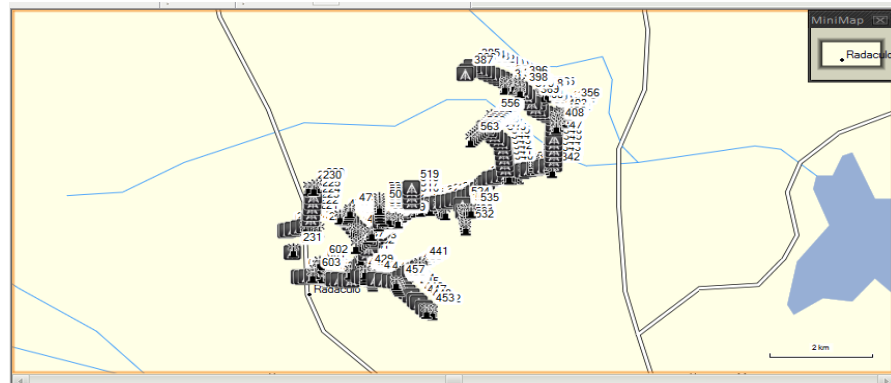
Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo D. Fotos del quehacer diario de la obra



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo

Anexo F. Ubicación en map source del tramo de la línea en Caimito



Fuente: Consorcio Tamayo & Tamayo