ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

ANALISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE CABLES SUBTERRANOS EN COBRE Y ALUMINIO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

HÉCTOR ANIBAL SALAZAR LLUMITASIG

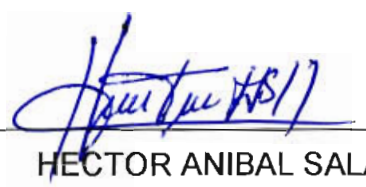
DIRECTOR: ING. LUIS TAPIA

QUITO , OCTUBRE 2003

DECLARACIÓN

Yo , HECTOR ANIBAL SALAZAR LLUMITASIG, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



HECTOR ANIBAL SALAZAR LLUMITASIG

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por HECTOR ANIBAL SALAZAR LLUMITASIG, bajo mi supervisión.

ING. LUIS TAPIA
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Díos, por darme la vida y la suerte de prepararme en una gran institución como es LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, a los ingenieros quienes con su nobleza y entusiasmo pusieron su apostolado en mis manos. Quiero agradecer especialmente al ING. LUIS TAPIA , director del proyecto de titulación, quien con su colaboración y guía he podido llevar a cabo de la mejor manera el presente trabajo.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a María Rosa, mi esposa, a mis hijos Luis Fernando y Héctor Alexander , quienes han sido la razón fundamental para seguir adelante y culminar mi carrera profesional .

Dedico a mis PADRES, quienes han sido los pilares fundamentales en mi vida, que gracias a su apoyo y paciencia, e logrado seguir superándome .

I N D I C E

INDICE

CAPITULO I : INTRODUCCION

1.1. Objetivo 5

1.2. Alcance 5

1.3. Resumen .....5 - 7

CAPITULO II : DESCRIPCIÓN DE CABLES EN REDES SUBTERRANEAS

2.1. Cables para líneas subterráneas..... 8

2.2. Cables unipolares..... 9

2.3. Cables multipolares 10

2.3.1. Cables bipolares 10

2.3.2. Cables tripolares 11

2.3.3. Cables tetrapolares.....11

2.4. Cables de campo no radial 12

2.5. Cables de campo radial 12

2.6. Aislamiento 13

2.6.1. Papel impregnado 14

2.6.2. Cambray barnizado 15

2.6.3. Termoplásticos 15

2.6.4 Termo fijos 16

2.7.- Resistencias..... 17

2.7.1.- Resistencias eléctrica.....17

2.7.2.- Resistividad eléctrica.....18

2.7.3.- Conductividad eléctrica 18

2.7.4.- Variación de la resistencia con la temperatura 19

2.7.5.- Constante de temperatura 19

2.7.6.- Coeficiente de temperatura 20

2.7.7. Resistencia efectiva R_w 21

2.7.8. Resistencia en corriente continua r ..... 21 - 23

2.7.9. Efecto Skin ..... 23 - 25

2.7.10. Resistencia adicional ΔR 25

2.7.11. Perdidas en función de la corriente V..... 26

2.7.12. Características de los aislamientos..... 26

2.7.12.1.- Rigidez dieléctrica ..... 26 - 27

2.7.12.2.- Constante dieléctrica 28

2.7.12.3.- Resistencia de aislamiento 29

2.7.12.4.- Comparación de las propiedades dieléctricas de los aislamientos..30

2.8.- Capacidad de carga 31

2.8.1.- Nociones fundamentales ..... 31 - 32

2.9.- Capacidad de cables en condiciones normales 33

2.9.1.- Resistencia del conductor y perdidas debidas a la corriente

(por efecto joule) 34

2.9.2.- Resistencia térmica del cable 35

2.9.3.- Temperatura del conductor 35

2.9.4.- Temperatura ambiente 36

2.9.5.- Resistencia térmica del suelo ..... 36 - 37

2.9.6.- Elección de la resistividad del terreno 38

2.9.7.- Resistencia térmica del aire 38

2.10.- Cálculo de la capacidad de carga en diferentes formas de instalación..... 39

2.11.- Capacidad térmica de cables ..... 40 - 42

CAPITULO III : FORMAS DE INSTALACIÓN DE CABLES SUBTERRÁNEOS

3.1.Cables enterrados directamente en el suelo..... 43

3.2.Cables en conductos 44

3.3.Cables al aire libre, instalados en soportes angulares (racks) 45

3.4.Cables en túneles 45- 46

CAPITULO IV : NORMAS SOBRE CONDUCTORES A UTILIZARSE EN REDES SUBTERRANEAS

4.1.Símbolos utilizados en cables subterráneos según las normas VDE 47

4.1.1 Cables con aislamiento y envoltura de plástico 47

4.1.2. Cables con aislamiento de papel y recubrimiento metálico 48

4.2. Designación de los cables subterráneos de acuerdo a las normas UNE .....49 - 52

4.2.1 Marcas : Identificación del cable 53

4.2.2. Materiales aislantes 53

4.2.2.1.Mezclas termoplásticas 53

4.2.2.2.Mezclas elastómeras o reticuladas 54

4.2.3. Cableado de los conductores aislados, revestimientos Internos y rellenos .54

4.2.3.1.Diferentes tipos de cables multipolares 54

4.2.3.2.Cables de campo no radial de tensión nominal superior a 0,6/1 kv 54

4.2.3.3.Cables de campo radial de tensión nominal superior a 0,6/1 kv y provisto de una pantalla metálica en cada conductor aislado 54

4.2.3.4.Cables de campo radial de tensión nominal superior a 0,6/1 kv con solo una pantalla metálica sobre el conjunto de los conductores aislados cableados..55

4.2.3.5.Revestimiento interno y rellenos 55

4.2.4. Conductores empleados en los cables subterráneos características técnicas de los materiales conductores empleados en los cables subterráneos.....56

4.3. Normas basadas en las publicaciones IPCEA – NEMA.....57

4.3.1. Características de sistemas en el cual el cable puede ser usado 57

4.3.2. Especificaciones ASTM de cables.....58 - 59

CAPITULO V : PROGRAMACION Y MANUAL DEL USUARIO

5.1.- Programación computacional para el cálculo de la capacidad de carga .....60 - 106

5.2.- Comparación porcentual de valores 106

5.3.- Manual del usuario .....107 - 125

CAPITULO VI : ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE RESULTADOS

Análisis..... 126 - 141

CAPITULO VII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- Conclusiones 142

7.2.- Recomendaciones .....143 - 144

CAPIYULO VIII : BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía .....145 – 146

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. - OBJETIVO:

El presente proyecto de titulación tiene por objeto determinar el cable más adecuado para redes subterráneas en cobre y aluminio, mediante un análisis técnico – económico, para condiciones normales y en diferentes formas de instalación .

1.2.- ALCANCE:

Se desarrolla un programa computacional, que permita determinar la capacidad de carga de cables subterráneos en cobre y aluminio, ya sea en condiciones normales y en diferente formas de instalación (como son: bajo tierra, en tubos , en zanjas y en canaletas).

Mediante los resultados obtenidos se efectúa un análisis técnico - económico de los cables de cobre y aluminio, recomendando el más optimo para los diferentes tipos de instalaciones.

1.3 RESUMEN

Un enfoque general del proyecto de titulación, se desarrolla en el capítulo I. Posteriormente se detalla la descripción de los cables en redes subterráneas, en donde constan las partes de los cables, además en el capitulo II se hace referencia a las propiedades eléctricas de los cables en cobre y aluminio, y la formulación del cálculo de la capacidad de carga de cables monopolares y tripolares , en condiciones normales y en diferentes formas de instalación .

Una vez analizados todos estos aspectos técnicos de los cables, se procede a estudiar en el Capitulo III, las diferentes formas de instalación de los cables, como por ejemplo : enterrados directamente en el suelo , en zanjas, en tubos y en canaletas.

Para la ejecución y procesamiento de datos del programa se ha tomado como referencia las siguientes normas : VDE, ASTM, IPCEA / NEMA, UNE, desarrolladas en el Capitulo IV, además información proporcionada por la EEQ y los distribuidores de cables. Por lo cual se ha ingresado en el programa los cables más utilizados y comercializados por las empresas eléctricas.

En el Capitulo V se desarrolla un programa digital para facilitar el cálculo de la capacidad de carga de los conductores subterráneos en cobre y aluminio para media tensión, ya sean monopolares o tripolares bajo condiciones normales o a diferentes formas de instalación. En este programa el usuario tiene la opción de ingresar otros tipos de cables que no se encuentren en el listado de selección "TIPO DE CABLE" del programa, utilizando la alternativa "MANTENIMIENTO" , con la cual se puede ingresar los datos que solicita en la pantalla y grabarlos, para posteriormente ejecutar los cálculos que se requieran para las necesidades particulares de instalación de los cables; proceso que se explica detalladamente en el Manual del Usuario.

Una vez desarrollado el programa computacional se analizan en el Capítulo VI, los resultados obtenidos, técnica y económicamente, el análisis económico se ha realizado con los costos de cables proporcionados por los distribuidores como son : DIPRELSA, CANALA, INTELCOM. Mediante este análisis se recomienda, para las diferentes formas de instalación, el cable más adecuado considerando la capacidad de carga requerida, sin que sufra daños durante el proceso de transmisión de energía eléctrica.

De la teoría, las normas y los resultados obtenidos por el programa computacional, en el Capitulo VII , se detallan algunas conclusiones y recomendaciones más importantes del presente estudio .

Toda la bibliografía requerida para el desarrollo del proyecto, se señala en el Capitulo VIII, donde las personas interesadas en el tema pueden adquirir mayor información sobre tópicos requeridos para el cálculo de la capacidad de carga.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE CABLES EN REDES SUBTERRANEAS.

2.1.- CABLES PARA LINEAS SUBTERRANEAS

Las partes que constituyen los cables empleados en redes subterráneas, son:

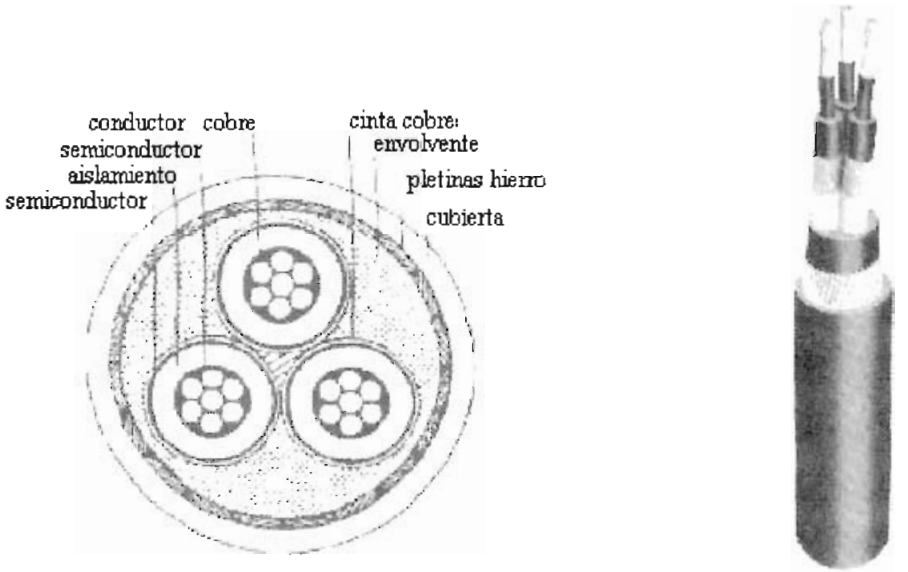
1.- Conductores. Generalmente son cableados y su misión es conducir la corriente.

2.- Capa semiconductora. El conductor se recubre de una capa semiconductora, cuya misión es doble. Por una parte, impedir la ionización del aire, que en otro caso se produciría en la superficie de contacto entre el conductor metálico y el material aislante. Y por otra, mejorar la distribución del campo eléctrico en la superficie del conductor.

3.- Aislante. Cada conductor lleva un envolvente aislante, de diferentes características, según el tipo de cable. Se emplea generalmente papel impregnado en aceite mineral o aislantes secos como son el policloruro de vinilo, el polietileno, el polietileno reticulado, el caucho natural o sintético y el etileno-propileno.

4.- Pantalla. Se aplica una pantalla sobre cada uno de los conductores aislados con el fin de confinar el campo eléctrico al interior del cable y limitar la influencia mutua entre cables próximos. La pantalla está constituida por una envoltura metálica de cobre.

5.- Rellenos. Su misión es dar forma cilíndrica al conjunto de los tres conductores.



Cable tripolar con almas apantalladas

6.- Armadura: Es un envolvente constituido por cintas, pletinas o alambres metálicos.

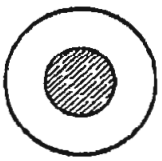
7.- Cubierta. Recubre exteriormente el cable, protegiendo la envoltura metálica de la corrosión y de otros agentes químicos.

Según su configuración, los cables subterráneos se pueden dividir en unipolares y multipolares. Con respecto al campo, se clasifican en radiales y no radiales. Y según el aislamiento en cables con aislamiento sólido y cables con aislamiento sólido y aceite.

2.2.- CABLES UNIPOLARES.

Los cables unipolares están constituidos por un solo conductor que, casi siempre es de sección circular como se indica en la (figura 1) , con el correspondiente aislamiento y los recubrimientos protectores que sean necesarios contra la corrosión, deterioros mecánicos, etc.; pueden o no ser armados.

' **Referencia : Instalaciones Eléctricas Generales, José Ramírez Vásquez.**



Configuración general de un cable subterráneo unipolar

Fig. 1

2.3.- CABLES MULTIPOLARES.

Los cables multipolares están constituidos por 2 ó mas conductores independientes, incluyendo los eventuales conductores de neutro y de protección; también pueden incluir, eventualmente, conductores de pequeña sección, destinados a la señalización a distancia. Cada uno de los conductores lleva su propio aislamiento y el conjunto puede completarse con una cintura aislante, pantallas electrostáticas , recubrimientos contra la corrosión y los efectos químicos, armaduras metálicas para resistir los eventuales esfuerzos mecánicos , etc.

2.3.1.- CABLES BIPOLARES.

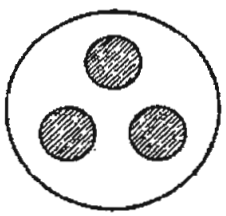
Los cables bipolares están destinados al transporte de energía eléctrica por corriente continua o por corriente alterna monofásica; generalmente están constituidos por dos conductores de sección circular, con cubierta exterior también de sección circular, como se indica en la (Figura 2). Estos cables son pocos utilizados en las redes de distribución.

Configuración general de un cable subterráneo bipolar.

Fig. 2

2.3.2.- CABLES TRIPOLARES.

Los cables tripolares llevan tres conductores , y están destinados al transporte de energía eléctrica por corriente alterna trifásica sin neutro. Estos conductores pueden ser de sección circular , desplazados entre sí 120^0 y la cubierta también es de sección circular (Figura 3). En otras ocasiones los conductores tienen sección sectorial, siendo la cubierta de sección circular (Figura 4); a igualdad de sección de conductor, los cables sectoriales ocupan menor diámetro exterior que los cables de sección circular, con el consiguiente ahorro de aislamiento y, son más apropiados para su instalación en lugares pequeños.



Configuración general de un cable subterráneo tripolar , de conductores redondos.

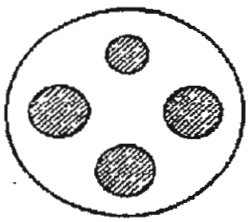
Fig. 3

Configuración general de un cable subterráneo tripolar, de conductores sectoriales .

Fig. 4

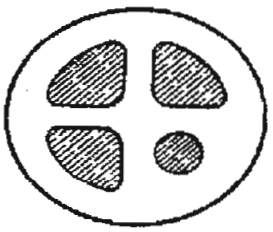
2.3.3.- CABLES TETRAPOLARES.

Los cables tetrapolares, como su nombre lo indica llevan 4 conductores y, se destinan por lo general, al transporte de energía eléctrica por corriente alterna trifásica con neutro. Casi siempre el neutro es de menor sección que los conductores activos. Los tipos constructivos más empleados son aquellos en que todos los conductores son de sección circular, con cubierta también de sección circular (Figura 5), y los que tienen los conductores activos de sección sectorial y el neutro de sección circular, bajo cubierta de sección circular (Figura 6). Debe advertirse que, casi siempre, en las redes trifásicas con neutro resulta más conveniente la instalación separada del neutro, ya que la reglamentación vigente impone que el neutro esté conectado a tierra, lo cual sería imposible a partir de un cable tetrapolar.



Cable subterráneo tetrapolar,de conductores redondos

Fig. 5



cable subterráneo tetrapolar , de conductores activos y conductor neutro redondo

Fig. 6

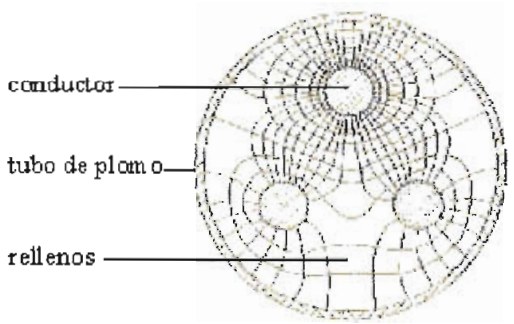
2.4.- CABLES DE CAMPO NO RADIAL

El campo eléctrico en la masa del aislamiento no es radial, ya que, además del campo debido a su propio conductor, inciden los campos de las otras dos fases, dando lugar a componentes tangenciales, como se puede ver en la figura7. Esta forma de trabajo no favorece el aislamiento, por lo que queda relegado únicamente hasta tensiones de unos 15kV.

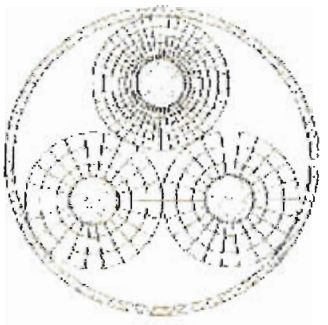
2.5.- CABLES DE CAMPO RADIAL

Para evitar los problemas que plantean los cables de campo no radial se coloca una pantalla exterior constituida por un envolvente metálico (cinta de cobre, hilos de cobre, etc.) que confinan el campo eléctrico al interior del cable.

Estos cables se emplean en alta tensión y se fabrican de forma unipolar o multipolar.



Cable de campo no radial



Cable de campo radial

Fig 7

2.6.- AISLAMIENTO.

Los materiales aislantes que se emplean en los cables subterráneos son bastante numerosos, si se tiene en cuenta que podemos tener instalaciones en una gama de tensiones. Naturalmente cada una de estas necesita el aislante que, por sus características eléctricas, mecánicas, químicas y económicas, sea el más adecuado. En el siguiente cuadro se presentan los diferentes aislamientos utilizados en los cables eléctricos:

* Papel impregnado.

* Cambray barnizado

* Termoplásticos
  - Cloruro de polivinil (PVC)
  - Polietileno
    - Baja densidad
    - Alta densidad

* Termofijos
  - Hule natural
  - Hules sintéticos
    - Estireno- butadieno (SBR)
    - Butilo
    - Neopreno
    - Etileno-propileno (EPR)
  - Polietileno sulfoclorado
  - Polietileno vulcanizado

2.6.1- PAPEL IMPREGNADO.

El papel impregnado fue uno de los primeros materiales utilizados para el aislamiento de los cables para transmisión de energía eléctrica y continúa siendo el mejor aislamiento para cables de alta tensión.

Constituye un aislamiento de magnificas cualidades eléctricas, bajas pérdidas dieléctricas, resistencia elevada a las descargas parciales (ionización). Además tiene buenas características térmicas. Su gran desventaja es que la absorción de la humedad deteriora considerablemente sus cualidades dieléctricas; por esta razón el aislamiento de papel debe secarse perfectamente durante el proceso de fabricación del cable y protegerse con un forro hermético.

Para realizar este tipo de aislamiento se enrollan sobre el conductor cintas de papel, helicoidalmente, en capas superpuestas, hasta obtener el espesor de aislamiento deseado; a continuación se seca y desgrasifica el aislamiento calentándolo y sometiéndolo a un alto vacío y se impregna con aceite mineral.

2.6.2.- CAMBRAY BARNIZADO.

El cambray barnizado es un aislamiento constituido por una cinta de algodón barnizada con varias capas de barniz aislante. Entre cada capa de aislamiento hay una sustancia lubricante de alta viscosidad. Constituye un aislamiento más flexible, aunque de menor calidad, que el papel impregnado y se ha aplicado especialmente en el caso de cables colocados verticalmente o con pendientes pronunciadas, ya que no presenta el inconveniente de los cables de papel impregnado, en los que el aceite puede escurrirse por gravedad, en la actualidad han sido desplazados por cables de aislamiento sintético, que han resultado más económicos.

2.6.3.- TERMOPLÁSTICOS.

Los termoplásticos son materiales orgánicos sintéticos, obtenidos por polimerización. Se vuelven plásticos al aumentar la temperatura, lo que permite aplicarlos por extrusión en caliente sobre los conductores, solidificándolos después al hacer pasar el cable por un baño de agua fría.

Los termoplásticos más utilizados como aislamientos de cables eléctricos son el cloruro de polivinil (PVC) y el polietileno. El cloruro de polivinil, mezclado con otras substancias se utiliza extensamente como aislante, sobre todo en cables de bajo voltaje, debido a su bajo costo, a su mayor resistencia a las descargas parciales (ionización) comparado con otros aislamientos orgánicos sintéticos, con mezclas adecuadas y con temperaturas de operación que van desde 60°C a 105°C. Tiene el inconveniente de tener una constante dieléctrica elevada y en consecuencia pérdidas dieléctricas altas, lo que limita su empleo en tensiones elevadas.

El polietileno, que se obtiene por polimeración del gas etileno, tiene excelentes características como aislante eléctrico, rigidez dieléctrica comparable a la del papel impregnado y pérdidas dieléctricas menores. Tiene también una conductividad térmica mayor que el papel impregnado, lo que facilita la disipación del calor. Sin embargo, debido a las imperfecciones producidas en el aislamiento durante el proceso de aplicación por extrusión, que en el caso del polietileno se

agravan por su alto coeficiente de expansión térmica, pueden producirse deterioro del asilamiento debido a descargas parciales producidas por ionización.

Otra desventaja del polietileno es su punto de fusión bastante bajo, del orden de 110°, lo que limita la temperatura de operación de los cables aislados con polietileno a 75°C. Para mejorar las características térmicas se ha desarrollado el poliestireno de alta densidad y el poliestireno vulcanizado o de cadena cruzada, con mejores cualidades mecánicas y un costo menor; sus cualidades eléctricas son similares a las del polietileno de baja densidad.

2.6.4.- TERMOFIJOS.

Los aislamientos agrupados bajo el nombre de termofijos están construidos por materiales que se caracterizan porque, mediante un proceso de vulcanización, se hace desaparecer su plasticidad y se aumenta la elasticidad y la consistencia mecánica.

Los aislamientos termofijos que se utilizan o se han utilizado más extensamente son el hule natural y los hules sintéticos, conocidos con el nombre genérico de elastómeros y más recientemente algunos derivados del polietileno. El hule natural fue, con el papel, uno de los primeros materiales usados para el aislamiento de cables. Se obtienen del látex de un árbol. Para utilizarlo como aislamiento se mezcla con otras substancias: plastificantes, agentes de vulcanización (1 a 2 % de azufre), modificadores y se vulcaniza. Su temperatura de operación es del orden de 60°C. El hule natural vulcanizado se empleó mucho en bajo voltaje y con menos frecuencia para voltajes más elevadas, hasta de 25 kV. Actualmente ha sido desplazado por cables de aislamiento sintético.

Sus cualidades eléctricas y mecánicas son similares, aunque ligeramente inferiores a las del hule natural; en cambio sus cualidades de resistencia a los agentes químicos y al envejecimiento son superiores. Por sus características y su bajo precio se han utilizado principalmente en el aislamiento de cables de bajo voltaje.

2.7.- RESISTENCIAS.

2.7.1.- RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia eléctrica R de un conductor, de un material conductor constituye un índice de la oposición que ofrece el material al paso de la corriente eléctrica.
Se define como la relación entre el voltaje V, aplicado a sus extremos y la corriente permanente I que circula por el conductor, es decir que se trata de un coeficiente de proporcionalidad entre ambas magnitudes, expresado por:

$$R = \frac{V}{I} \qquad (1)$$

En conductores de sección uniforme , relativamente pequeña respecto a su longitud, la resistencia es directamente proporcional a la longitud l e inversamente proporcional a la sección s, de forma que puede expresarse por :

$$R = \rho \frac{l}{s} \qquad (2)$$

en la que ρ es el coeficiente de proporcionalidad, distinto para cada material conductor y denominado resistividad. La unidad de resistencia es el ohmio (Ω)

La magnitud inversa de la resistencia se denomina conductancia, y está definida por

$$G = \frac{I}{V} \qquad (3)$$

*** Referencia : Manual de Ingeniería Eléctrica ,Tomo I, Donald G. Fink.**

La unidad de la conductancia es el mho, que se define como la conductancia de un circuito recorrido por la corriente de 1 amperio, bajo la diferencia de potencial de 1 voltio. Otra unidad de conductancia es el siemens.

2.7.2.- RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad eléctrica o resistencia específica es la medida de la resistencia eléctrica de una cantidad unidad de un material dado. Si la resistividad se refiere a las unidades de superficie y de longitud, se trata de resistividad volumétrica, que es la más utilizada como característica típica de los materiales conductores.
De la ecuación 2 tenemos la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{R * s}{l} \qquad (4)$$

Donde: R =Resistencia se mide en ohmios.
s = Sección se mide en milímetros cuadrados, y
l = longitud se mide en metros.

Por ejemplo la resistividad del cobre es :

$\rho = 0.017241$

y la resistividad del aluminio es:

$\rho = 0.02703$

Estos valores están a la temperatura de $20°C$

2.7.3.- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica χ es la inversa de la resistividad, es decir :

$$\chi = \frac{1}{\rho} \qquad (5)$$

Por ejemplo para el caso del cobre es :

$$\chi = \frac{1}{0.017241} \qquad \chi = 58\frac{S * m}{mm^2}$$

2.7.4.- VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA CON LA TEMPERATURA.

Según la clase de materiales empleados, la resistencia eléctrica varía de distinta forma al aumentar la temperatura:

a) la resistividad del cobre, del aluminio y , en general, de casi todos los materiales metálicos aumenta, si aumenta la temperatura.

b) Industrialmente , se consiguen ciertas aleaciones de cobre y níquel, algunas veces con adición de otras sustancias (por ejemplo, manganeso), cuya resistividad es prácticamente independiente de la temperatura.

c) El carbono, sus derivados y casi todos los materiales aislantes en estado seco, presentan el fenómeno inverso, es decir , que su resistividad disminuye al aumentar la temperatura.

2.7.5.- CONSTANTE DE TEMPERATURA.

Experimentalmente se ha comprobado que el incremento de resistividad de un material conductor, por cada grado de aumento de la temperatura, es una constante C del material, independiente de la resistividad inicial de la muestra, de la temperatura inicial y de la calidad de la muestra. Por ejemplo, para el cobre patrón.

$$c = 68 * 10^{-6} \frac{\left(\frac{\Omega * mm^2}{m}\right)}{^0C}$$

Lo que quiere decir que la resistencia de un conductor de cobre de 1 m de longitud y $1mm^2$ de sección constantes, para cualquier calidad electrotécnica y

cualquier temperatura, aumenta $68\mu\Omega$ por cada ^0C, de igual forma el producto de la resistividad por el coeficiente de temperatura, para el aluminio, se fija en $1{,}1\times10^{-4}\Omega$ por cada ^0C, la variación de la resistencia de un conductor de 1 m de longitud y $1mm^2$ de sección , por cada grado de diferencia de temperatura.

La expresión matemática de esta ley es :

$$\rho_{t2} = \rho_{t1} + c(t_2 - t_1) \qquad (6)$$

ρ_{t2} = resistividad a la temperatura $t_2{}^0C$

ρ_{t1} =resistividad a la temperatura $t_1{}^0C$

2.7.6.- COEFICIENTE DE TEMPERATURA

Si al variar la temperatura de un conductor desde t_1 a t_2 ^0C, su resistividad aumenta desde ρ_{t1} a ρ_{t2}, se define el coeficiente de temperatura medio $\alpha_{\rho t1}$, a partir de $t_1{}^0C$, como la variación c de resistividad por grado centígrado, referida al valor inicial de ρ, es decir, a ρ_{t1}. Matemáticamente , el valor del coeficiente de temperatura medio está expresado por:

$$\alpha_{\rho t1} = \frac{c}{\rho_{t1}} \qquad (7)$$

Considerando la conductividad inicial x_{t1} resulta la siguiente expresión

$$\alpha_{\rho t1} = cx_{t1} \qquad (8)$$

En los proyectos de instalación de cables , Basta aplicar los coeficientes de temperatura usuales, que son :

Cobre:

$\alpha_{20} = 3{,}93 \bullet 10^{-3}\, grd^{-1}$ $\qquad$ $\alpha_0 = 4{,}26 \bullet 10^{-3}\, grd^{-1}$

Aluminio:

$\alpha_{20} = 4{,}03 \bullet 10^{-3}\, grd^{-1}$ $\alpha_0 = 4{,}38 \bullet 10^{-3}\, grd^{-1}$

2.7.7.- RESISTENCIA EFECTIVA R_W

R_W es la resistencia efectiva a la temperatura de servicio en sistemas de corriente *alterna* monofásica o trifásica , en Ω / km.

$R_W = R + \Delta R \quad \Omega / km$

$R_W = R_{20}(1 + \alpha_{20} * \Delta\vartheta) + \Delta R \quad \Omega / km$

2.7.8.- RESISTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA R

La resistencia en corriente continua de los conductores varía con la temperatura, según la fórmula:

$R = R_{20}(1 + \alpha_{20} * \Delta\vartheta) \quad \Omega / km$

Donde :

R la resistencia en corriente continua a la temperatura de servicio, en Ω / km

R_{20} la resistencia en corriente continua del conductor $20^0 C$ según las tablas

α_{20} el coeficiente de temperatura de la resistencia a $20^0 C$, en $1/grd$

para el cobre $\alpha_{20} = 0{,}00393$ 1/grd.

$\alpha_0 = 4{,}26 \bullet 10^{-3}\, grd^{-1}$

para el aluminio $\alpha_{20} = 0{,}00403$ /grd.

$$\alpha_0 = 4{,}38 \bullet 10^{-3}\, grd^{-1}$$

La resistividad en función del coeficiente de temperatura.

De la ecuación (6) se deduce la siguiente expresión:

$$\rho_{t2} = \rho_{t1}\left[1 + \frac{c}{\rho_{t1}}(t_2 - t_1)\right]$$

Reemplazando la ecuación (7) tenemos la siguiente ecuación:

$$\rho_{t2} = \rho_{t1}\left[1 + \alpha_{\rho t1}(t_2 - t_1)\right] \qquad (9)$$

Que es una fórmula muy importante y de múltiples aplicaciones se toman como base las características del material a 20 ^{0}C , que es la temperatura de referencia para la normalización de las propiedades de los materiales conductores resulta:

$$\rho_{t2} = \rho_{20}\left[1 + \alpha_{\rho 20}(t_2 - 20)\right]$$

$$\rho_{t1} = \rho_{20}\left[1 + \alpha_{\rho 20}(t_1 - 20)\right]$$

Dividiendo ρ_{t1} para ρ_{t2}, y recordando que

$$\alpha_{\rho 20} = c * x_{20} = 68 * 10^{-6} * 58 = \frac{1}{253{,}55}$$

Considerando los valores de los coeficientes de temperatura para el cobre con una conductividad del 100% descritos anteriormente y para $0°C$, se llega a la expresión que se indica a continuación :

$$\frac{\rho_{t2}}{\rho_{t1}} = \frac{234.5 + t_2}{234.5 + t_1} \qquad (10)$$

Tomando como base a la resistencia afectada por la temperatura y considerando los coeficiente de temperatura a $0°C$, se tiene la siguiente expresión, que se

indica a continuación y consta en el libro Electrical Transmision and Distribution Reference (página 36, características de líneas aéreas) :

De la ecuación general :

$R_{t_2} = R_0(1+\alpha_0 * t_2)$ y

$R_{t_1} = R_0(1+\alpha_0 * t_1)$

dividiendo R_{t_2} para R_{t_1}, tenemos la siguiente expresión :

$$\frac{R_{t2}}{R_{t1}} = \frac{K+t_2}{K+t_1}$$

Donde :

R_{t_2} Resistencia a una temperatura $t_2\,^0C$

R_{t_1} Resistencia a otra temperatura $t_1\,^0C$

K Constante que depende del tipo de material a una temperatura de 0^oC,

K = 234.5 para el 100 % de conductividad del cobre

K = 241.5 para el 97.3 % de conductividad del cobre

K = 228.1 para el aluminio con una conductividad del 61 % respecto al cobre.

2.7.9.- EFECTO SKIN

Es bien conocido que la resistencia de un conductor de corriente alterna es mayor que la resistencia de corriente continua. La resistencia de corriente continua de los cables pueden ser considerada como la resistencia de una varilla sólida de la misma longitud y sección transversal, pero incrementada en un 2% para tener en cuenta el efecto de espiralado de los hilos que componen el conductor. Cuando se alteran los flujos de corriente en el conductor hay una deficiente distribución de corriente; los filamentos exteriores del conductor llevan más corriente que los filamentos más cercanos al centro.

Esto da como resultado una alta resistencia de corriente alterna que de corriente continua, lo que es comúnmente llamado "Efecto Skin". La relación de las dos resistencias es conocida como "Relación del Efecto Skin". En pequeños conductores esta relación es despreciable, mientras más grandes son los conductores se hacen más apreciables y deben ser consideradas las resistencia de los conductores a 60 ciclos.

La fórmula para determinar la resistencia de corriente alterna r_f, a la frecuencia f, conociendo la resistencia de corriente continua r_{dc}; para un cable cilíndrico recto.

Donde: r_f = la resistencia a la corriente alterna deseada a la frecuencia f (ciclos por segundo).

r_{dc} = conociendo la resistencia a la corriente directa a una temperaturas conocida.

Entonces $r_f = K \times r_{dc}$

Donde K = valor dado en tablas y es determinado desde

$$X = 0.063598\sqrt{\frac{f\mu}{r_{mile}}}$$

f = frecuencia en ciclos por segundo.

μ = permeabilidad.

r_{mile} = resistencia a la corriente directa de conductores en ohmios por milla.

TABLA DEL EFECTO SKIN

X	K	X	K
0.0	1.00000	1.3	1.01470
0.1	1.00000	1.4	1.01969
0.2	1.00001	1.5	1.02582
0.3	1.0004	1.6	1.03323
0.4	1.00013	1.7	1.04205
0.5	1.00032	1.8	1.05240
0.6	1.00067	1.9	1.06440
0.7	1.00124	2.0	1.07816
0.8	1.00212	2.1	1.09375
0.9	1.00340	2.2	1.11126
1.1	1.00758	2.3	1.13069
1.2	1.01071	2.4	1.15207

2.7.10.- RESISTENCIA ADICIONAL ΔR

La resistencia adicional ΔR, que implica un incremento mesurable de la resistencia de los conductores, tiene en cuenta , el efecto skin y las pérdidas adicionales de los cables empleados en sistemas de corriente alterna monofásica y trifásica. Para cables en corriente continua, la resistencia adicional es nula.

*La ecuación del efecto SKIN se tomo de la referencia : Transmision and distribution. Reference book

En los cables de varios conductores las pérdidas adicionales son causadas por el desplazamiento de la corriente en el conductor, por las corrientes parásitas en la envoltura metálica y en la armadura, así como por la magnetización en esta última.

2.7.11.- PERDIDAS EN FUNCION DE LA CORRIENTE V.

Las pérdidas V que dependen de la corriente de carga (potencia de pérdida) de un cable de tres conductores o de tres cables de un conductor, en un sistema trifásico con carga constante, son:

$$V = nI^2 * R_W * 10^{-3} \quad \text{W/m}$$

$$V = 3I^2 * R_W * 10^{-3} \quad \text{kW/km}$$

Las pérdidas V_n indicadas en las tablas se transforman en las correspondientes a otras corrientes de carga I como sigue:

$$V = V_n \left(\frac{I}{I_n} \right)^2 \quad \text{kW/km}$$

siendo I_n la capacidad de carga en condiciones normales, para tendido en tierra.

2.7.12.- CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLAMIENTOS.

2.7.12.1.- Rigidez dieléctrica.

La rigidez dieléctrica de un material aislante es el valor de la intensidad de campo eléctrico al que hay que someterlo para que se produzca una perforación del aislamiento. En un cable donde se tiene un conductor cilíndrico con una cubierta semiconductora, el aislamiento dispuesto alrededor del conductor, una pantalla metálica colocada sobre el aislamiento, conectada a tierra y por un forro o cubierta protectora como en la figura 8 . El campo eléctrico tiene una disposición

*Referencia de las características de los aislamientos: JACINTO VIQUEIRA LANDA TOMO II

radial; las líneas de fuerza del campo eléctrico emanan radial y uniformemente del conductor y terminan en la pantalla metálica.

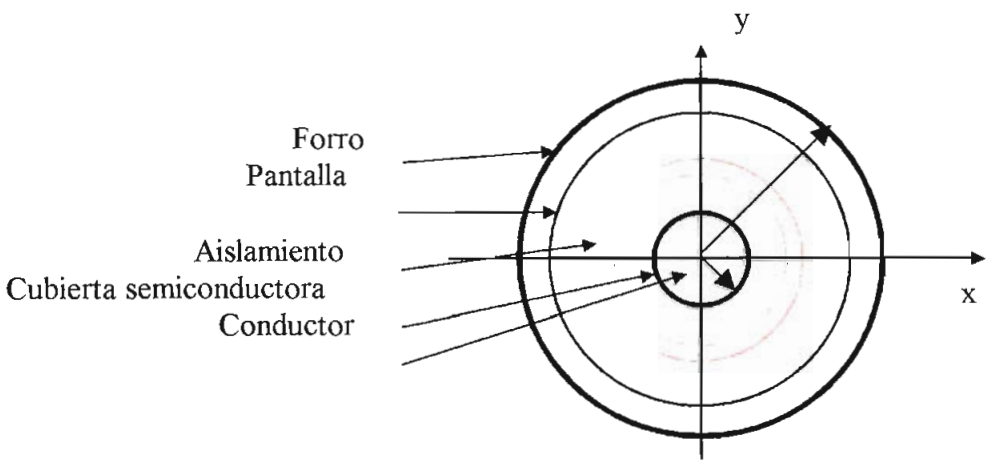


Figura. 8. Campo eléctrico en un cable monopolar con pantalla

Siendo :

r = radio del conductor

R = radio externo del aislamiento

La intensidad de campo eléctrico en función de la distancia x medida a partir del centro del conductor es:

$$E = \frac{V_n}{x * Ln\frac{R}{r}}$$

Siendo la intensidad de campo eléctrico: máxima para x = r, es decir en la superficie del conductor y mínima para x = R, es decir, en la superficie exterior del aislamiento.

$$V_n = \frac{18 * 10^9 * q}{k} * \ln\frac{R}{r} \qquad \text{voltios}$$

En esta ecuación k es la constante dieléctrica del aislamiento.

2.7.12.2.- Constante dieléctrica.

La capacitancia de un cable es directamente proporcional a la constante dieléctrica de su aislamiento. En efecto, considérese un cable monofásico con pantalla metálica como el representado en la figura 8. El conductor del cable que se encuentra al potencial de la línea, constituye una de las placas, la pantalla metálica, que está conectada a tierra, la otra placa y el aislamiento del cable es el dieléctrico del condensador.

La presencia de burbujas de gas o de impurezas en el aislamiento, origina constantes dieléctricas varias veces inferiores a la del material aislante, puede hacer que queden sometidos a diferencias de potencial elevadas y por lo tanto a gradientes de potencial suficientemente altos para producir fenómenos de ionización que deterioran el aislamiento y puede llegar a producir su perforación.

Si la carga eléctrica por metro de conductor es **q** la capacidad al neutro del cable, por metro de longitud, está dada por:

$$C_n = \frac{q}{V_n}$$

Sustituyendo en la expresión anterior el valor de V_n tenemos:

$$C_n = \frac{k}{18 * 10^9 * Ln\frac{R}{r}} \qquad \frac{Faradios}{metro.de.cable}$$

donde:

k es la constate dieléctrica del aislamiento

r el radio exterior del conductor

R el radio exterior del aislamiento

Expresando la capacitancia en microfaradios, en función del logaritmo decimal y por kilómetro de cable:

$$C_n = \frac{0.02413 * k}{\log_{10} \frac{R}{r}} \qquad \frac{uF}{km.de.cable}$$

La reactancia capacitiva al neutro estará dada por:

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * f * C_n}$$

$$X_C = \frac{6.596}{f * k} * \log_{10} \frac{R}{r} \qquad \text{MΩ * Km.}$$

2.7.12.3.- Resistencia de aislamiento.

Como no es posible fabricar un aislamiento perfecto, al aplicar un potencial al conductor de un cable la diferencia de potencial entre el conductor y tierra hará circular una pequeña corriente a través del aislamiento. La resistencia de aislamiento R_a, propia del medio dieléctrico se opone al paso de esta corriente y se determina de la manera indicada a continuación.

En la figura 9, se representa un cable monopolar con pantalla metálica conectada a tierra. La resistencia de un tubo de aislamiento de radio x, espesor dx y longitud l es:

$$dR_a = \rho * \frac{dx}{2 * \pi * l * x}$$

donde:

ρ = es la resistividad del aislamiento.

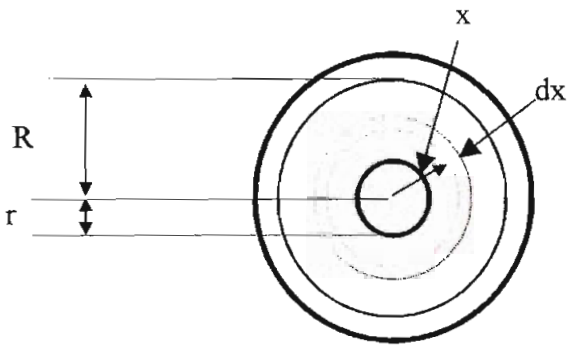


Figura 9. Cable monopolar con pantalla metálica

La resistencia de todo el espesor del aislamiento es:

$$R_a = \frac{\rho}{2 * \pi * l} * \int_r^R \frac{1}{x} dx$$

$$R_a = \frac{\rho}{2 * \pi * l} * Ln \frac{R}{r} \qquad \text{ohmios}$$

Se llama constante de resistencia de aislamiento **K** al valor dado por la siguiente expresión:

$$K = \frac{\rho}{2 * \pi * l}$$

La constante **K** se expresa generalmente en megaohmios, a una temperatura determinada (15.5°C) y una longitud **l** de cable determinada.

Por otra parte la resistencia de aislamiento disminuye notablemente cuando los aislamientos absorben humedad. La prueba de la resistencia de aislamiento es un procedimiento sencillo para determinar el estado del aislamiento de un cable y detectar si ha sufrido deterioro.

2.7.12.4.- Comparación de las propiedades dieléctricas de los aislamientos.

En la tabla presentada a continuación se encuentran las propiedades dieléctricas típicas de los aislamientos más usuales:

CARACTERISTICA	PAPEL IMPREGNADO	CAMBRAY BARNIZADO	BUTILO	POLIETILENO	CLORURO DE POLIVINIL
RIGIDEZ DIELECTRICA (CORRIENTE ALTERNA) KV / mm	22	12	14	20	16
RIGIDEZ DIELECTRICA (IMPULSO) KV / mm	73	40	43	60	47
CONSTANTE DIELECTRICA	3.5	6	3.7	2.3	5.5
FACTOR DE POTENCIA	0.008	0.06	0.015	0.0004	0.03
CONSTANTE DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO MΩ	3000	1000	10000	30000	5000

Propiedades dieléctricas de los aislamientos

2.8.- CAPACIDAD DE CARGA.

2.8.1.- NOCIONES FUNDAMENTALES.

La capacidad de carga de un cable depende de la temperatura máxima admisible del conductor y de las condiciones del ambiente para la disipación del calor. El cable se calienta debido a las pérdidas óhmicas que se producen en los conductores, y en las envolturas metálicas si por el pasa la corriente alterna. El calor pasa del conductor a la superficie exterior del cable y, si éste está instalado al aire libre, se transmite al ambiente por convección y radiación. Si el cable está tendido bajo tierra, el calor de pérdidas pasa, por conducción térmica, desde la superficie del cable a la atmósfera a través de la tierra, mientras el cable se calienta.

La transmisión de calor se rige por una ley análoga a la de Ohm, correspondiendo el flujo térmico (pérdidas óhmicas) V a la corriente eléctrica I, la diferencias de temperaturas $\Delta\vartheta$ al voltaje V y la resistencia térmica total $\sum S$ a la resistencia eléctrica R. Por tanto es :

$\Delta\vartheta = V * \sum S$, es equivalente a $V = I * R$ (11)

El flujo térmico es la suma de todas las pérdidas generadas en el cable. Para alcanzar el aire ambiente desde el lugar de origen, el flujo térmico debe vencer a resistencia térmico S_K del cable, y la resistencia térmica del aire S_L o del suelo S_K , debida a la transmisión del calor desde la superficie del cable hacia el exterior.

Con la ecuación que expresa las pérdidas por efecto joule

$$V = nI^2 R_W * 10^{-3} W / m \qquad (12)$$

se obtiene de la ecuación (11) la capacidad de carga durante el servicio con corriente alterna monofásica o trifásica, estando el cable instalado al aire libre :

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta * 10^5}{nR_W (S'_K + S_L)}} \qquad [A] \qquad (13)$$

La capacidad de carga para cables tendidos bajo tierra es:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta * 10^5}{nR_W (S'_K + S_E)}} \qquad [A] \qquad (14)$$

Donde :

$\Delta\vartheta =$ Calentamiento del conductor respecto a la temperatura ambiente, en grados

n = número de conductores activos

$R_W =$ resistencia efectiva de un conductor a la temperatura deservicio, en Ω / km

$S'_K =$ resistencia térmica aparente del cable, en grd.cm/W

$S_L =$ resistencia térmica del aire en grd.cm/W

$S_E =$ resistencia térmica del suelo en grd.cm/W

* Todas las formulas que se encuentran en esta sección han sido tomadas de la referencia , L. HEINHOLD

2.9.- CAPACIDAD DE CABLES EN CONDICIONES NORMALES.

La resistencia térmica del cables S'_K y la efectiva R_W dependen principalmente de los componentes del cable y de su construcción .La elevación de temperatura tolerable $\Delta\vartheta$ y la resistencia térmica del ambiente (tierra o aire) S_E o S_L se determinan por las condiciones ambientales del lugar de instalación del cable. Para condiciones normales se indicarán con el subíndice " n " añadiendo al símbolo correspondiente.

Las ecuaciones de la capacidad de carga en condiciones normales son las siguientes:

Capacidad de carga tendidos al aire libre:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta * 10^5}{nR_W (S'_K + S_{Ln})}} \qquad [A]$$

Capacidad de carga en tendido bajo tierra:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\vartheta * 10^5}{nR_W (S'_K + S_{En})}} \qquad [A]$$

La capacidad de carga se determina por:

- La resistencia eléctrica del conductor y las pérdidas debidas a la corriente (por efecto joule).
- Resistencia térmica del cable.
- La temperatura del conductor y la temperatura del medio ambiente

(calentamiento).

- La clase del tendido en aire o en tierra.

2.9.1.- RESISTENCIA DEL CONDUCTOR Y PERDIDAS DEBIDAS A LA CORRIENTE (POR EFECTO JOULE).

La resistencia de los conductores de un cable, depende de la constitución de los mismos y del cable. La resistencia del conductor viene dada por la fórmula:

$$R_{20} = \frac{4A}{n * \pi d^2} * K_1 * K_2 * K_3$$

Donde :

R_{20} la resistencia del conductor a $20^0 C$, en Ω / km

A la resistividad a $20^0 C$, en $\Omega mm^2 / km$

Para el cobre A= 17,241 $\Omega mm^2 / km$

Para el aluminio A= 28,264 $\Omega mm^2 / km$

n el número de hilos del conductor

d el diámetro de un hilo, en mm.

K factores que toman en cuenta las influencias propias de la fabricación.

A continuación indicaremos los valores que toma K.

K1 = 1,03 para varios conductores.

K2 = 1,02 Trenzado de los hilos de los conductores.

K3 = 1,00 cables de varios conductores.

2.9.2.- RESISTENCIA TERMICA DEL CABLE.

La resistencia térmica aparente del cable S'_K, necesaria para los datos especiales del proyecto , se calcula para un solo cable con la ecuación:

$$S'_K = \frac{\Delta\vartheta_n * 10^2}{V_n} - S_{E_n} \qquad \text{grd cm/ W}$$

Donde :

$\Delta\vartheta_n$ elevación de temperatura bajo condiciones normales

V_n pérdidas en función de la intensidad, en condiciones normales.

S_{E_n} resistencia térmica del suelo, con $\sigma_E = 100$ grd cm /W.

2.9.3.- TEMPERATURA DEL CONDUCTOR.

La temperatura del conductor se indicada en las prescripciones VDE para casi todos los tipos de cables, como se indica en la siguiente tabla .

TEMPERATURAS DE LOS CONDUCTORES

TIPO DE CABLES	TENSION NOMINAL kV	TEMPERATURA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR ^0C	ELEVACION DE TEMPERATURA 20^0C
TODOS LOS TIPOS	0,6/1 3,5/6	70	50
TODOS LOS TIPOS	5,8/10	65	45
TODOS LOS TIPOS	8,7/15 11,6/20	60	40
TODOS LOS TIPOS	17,3/30	55	35

2.9.4.- TEMPERATURA AMBIENTE.

No siempre es posible medir la temperatura ambiente, por lo que frecuentemente debe ser estimada. El valor elegido para el proyecto puede exceder solamente unos pocos días durante el año o en unas pocas horas al día.

Si no se conocen por medición o por experiencia valores mayores, pueden asumirse las siguientes temperaturas ambiente:

- Cables tendidos en el aire

  Sótanos sin calefacción 20^0C

  Recintos climatizados normalmente (sin calefacción en verano), 25^0C

  Naves de fábricas, talleres, etc. 30^0C

- Cables tendidos en tierra entre

  0,7 y 1,2 de profundidad 20^0C

  La temperatura a 1m de profundidad bajo una capa de cemento o de asfalto expuesta a las radiaciones solares, puede exceder, en los meses de verano, en más de 5^0C los valores medidos. Con un valor más bajo que el dado en las tablas (20^0C) sólo se puede contar si este valor se conoce por mediciones efectuadas.

2.9.5.- RESISTENCIA TERMICA DEL SUELO.

Los cables se tienden bajo tierra, por lo general, sobre una capa de arena o en tierra natural cribada, y se cubren con ladrillos. Para calcular la capacidad de carga de un cable tendido en tierra se supone que las pérdidas térmicas producidas en el cable se disipan en la atmósfera, para

ello han de vencer la resistencia térmica del cable S_K, la del terreno S_E, así como la resistencia térmica de paso en la superficie del suelo. La fórmula para el cálculo de la resistencia térmica del suelo S_E es la siguiente:

$$S_E = \frac{\sigma_E}{2\pi} \ln \frac{4h}{d} \quad \text{grd.cm/W.}$$

La resistencia térmica en condiciones normales se consideran los valores de: $\sigma_E = 100 grd.cm/W$ y h = 70 cm.

La resistencia térmica del terreno y la capacidad de carga incluso para tres cables de un solo conductor, dispuestos en haz o sobre un plano, pueden calcularse por la siguiente ecuación:

$$S_E = S'_E + \Delta S_E \quad \text{grd.cm/W.}$$

siendo S'_E la resistencia térmica de cada cable y ΔS_E la resistencia térmica adicional que representa el calentamiento mutuo.

Donde S'_E y ΔS_E se determina mediate las siguientes ecuaciones:

$$S'_E = \frac{\sigma_E}{2\pi} \ln \frac{4h}{d} \qquad \text{grd. cm/W.}$$

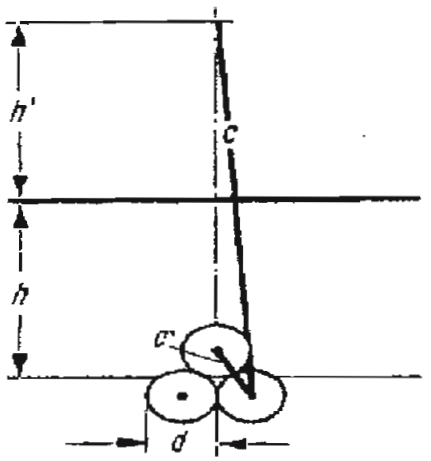
$$\Delta S_E = \frac{\sigma_E}{2\pi} \ln \left(\frac{2h}{d} \right)^2 \qquad \text{grd. cm/W} \qquad \text{dispuestos en haz.}$$

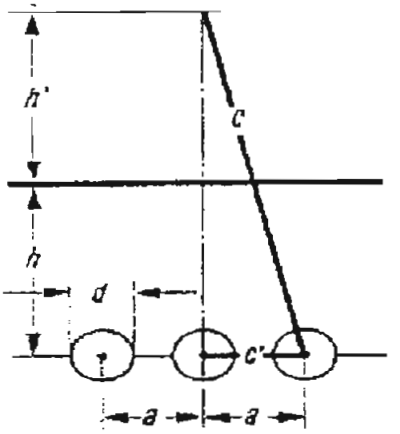
$$\Delta S_E = \frac{\sigma_E}{2\pi} \ln \left[\left(\frac{2h}{a} \right)^2 + 1 \right] \qquad \text{grd.cm/W} \qquad \text{dispuestos sobre un plano.}$$

Donde :

d es el diámetro exterior del cable.

a la distancia entre los ejes del cable. a = 7 cm + el diámetro del cable.





2.9.6.- ELECCION DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

Si aumentamos la profundidad del tendido, se reduce la temperatura del medio ambiente, al igual que la resistencia térmica específica ,debido que las zonas más profundas del suelo son normalmente más húmedas y conservan más uniformemente la humedad que las capas superiores. La resistividad térmica σ_E de un terreno común, exento de cargas térmicas y con un grado de humedad normal, puede oscilar entre 50 (arcilla pura) y 100 grd cm/W aproximadamente (arena con baja proporción de arcilla). Las impurezas tales como escorias, cenizas, residuos industriales, materias orgánicas, etc., pueden incrementar este valor hasta 500 grd cm/W.

2.9.7.- RESISTENCIA TERMICA DEL AIRE.

La resistencia térmica del aire es función de la temperatura del medio ambiente, del diámetro del cable, y de una constante (H) que depende de la disposición de los cables y del color de su superficie.

La fórmula para calcular la resistencia térmica del aire es la siguiente:

$$S_L = \frac{1}{\pi * D_C * h * T_a^{0,25}} \quad \text{grd. cm / W.}$$

Donde:

S_L	Resistencia térmica del aire	grd. cm/ W
D_C	Diámetro exterior del cable	cm
Ta	Temperatura del medio ambiente	^0C
h	Coeficiente de disipación de calor	$W/cm^2.^0C$

Para el cálculo de la capacidad de carga en condiciones anormales, es necesario multiplicar la capacidad de carga en condiciones normales por ciertos factores que influyen de acuerdo al tipo de temperatura ambiente, temperatura admisible de los conductores, y del tipo de instalación .

2.10.- CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN DIFERENTES FORMAS DE INSTALACIÓN

Si difieren las condiciones de instalación de las normales, los valores de la capacidad de carga deben multiplicarse por los factores de reducción, como son considerando la resistividad térmica del suelo, temperaturas del medio ambiente, disposición de los cables (en caso de cables monopolares), tipos de instalación (bajo tierra , en tubos ,en zanjas y en canaletas).

$I_{capacidaddecarga} = n *$ factores de reducción

Donde n es el número de cables y los factores de reducción se encuentran en tablas, como por ejemplo las tablas indicadas en el libro de Cables y Conductores para el Transporte de Energía – Lothar Heinhold .

Estos factores de reducción se han tomado en cuenta en el programa computacional que realiza el cálculo de la capacidad de carga para diferentes formas de instalación.

La parte teórica detallada en esta sección junto con las normas estudiadas en el capitulo IV , sirven como base para la ejecución del programa digital descrito en el capitulo V.

2.11.- CAPACIDAD TERMICA DE CABLES.

Línea, cable o conducto de barras deben ser capaces de transportar la corriente normal de funcionamiento, y la que se presenta en situaciones de emergencia, si el cable es relativamente corto deberá soportar desde el punto de vista térmico esta corriente.

Quizás en emergencia sea admisible sobrecargar el cable, el limite de carga del cable esta dado por la temperatura que alcanza el material conductor, que puede degradar sus características mecánicas, y en los cables con aislamiento afecta la duración de esta, reduciendo su vida útil. La temperatura del cable depende del ambiente, por lo que su capacidad de sobrecarga esta ligada a estas condiciones (temperatura, velocidad del aire, etc.).

El efecto Joule que produce en los cables que transmiten cierta corriente. Sin querer reducir la importancia desde el punto de vista de las pérdidas, debemos destacar que el calor que se produce en el cable que transporta cierta corriente debe ser disipado al ambiente que lo rodea, de otra manera el conductor, y el aislante que lo rodea pueden alcanzar valores de temperatura intolerables para la buena conservación de sus características.

La temperatura máxima que el conductor puede alcanzar esta *condicionada* por su estado de tensión mecánica, que puede ser elevado y entonces obliga a no

pasar de ciertas temperaturas para que no se produzcan efectos de perdidas de las características mecánicas.

Para los cables aislados, la alta temperatura del conductor esta condicionada por la que soportan los materiales aislantes que lo rodean, las altas temperaturas abrevian la vida útil de los mismos. A su vez, el material aislante que rodea al conductor se comporta como una barrera térmica, dificultando la disipación del calor al ambiente.

Hay varios factores que limitan la capacidad de un circuito de transmisión. Uno de ellos es el límite de la capacidad térmica, que es la carga a la cual las pérdidas óhmicas y del dieléctrico causan que el conductor o el dieléctrico alcancen la temperatura máxima que puede tolerarse físicamente. Estas pérdidas deben disiparse al ambientes, al aire o a la tierra dependiendo del caso.

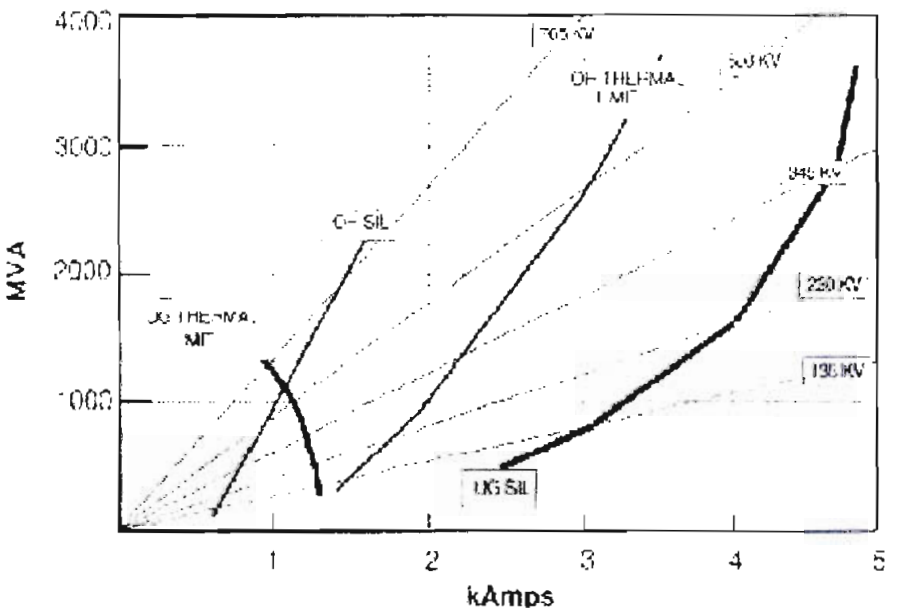


Figura. Potencia en función de la corriente para varias líneas de la transmisión.

La figura grafica la relación de potencia-corriente para los niveles de voltaje común para ilustrar el comportamiento de capacidad de potencia de los dos tipos diferentes de transmisión: aérea (OH) y bajo tierra (UG). Se nota que la capacidad de transporte de corriente de las líneas aéreas aumenta con el voltaje,

considerando mientras ocurre lo contrario para los cables subterráneos. Las líneas aéreas usan los conductores más grandes a voltajes más altos para controlar el ruido de corona y radio. El límite térmico de un conductor aéreo normalmente se establece; como el calor que el conductor emite y el punto medio de cada espacio a la superficie de la tierra. La violación de esto puede ser peligrosa, además de bajar la tensión dieléctrica del circuito. Una segunda preocupación es acerca del conductor que tiende a la expansión irreversible y lenta bajo tensión. Se acelera por el clima cálido y el calentamiento del conductor. Las excursiones del corto-tiempo a las temperaturas muy altas causarán el recocido y la pérdida severa de tensión.

CAPITULOIII

FORMAS DE INSTALACION DE CABLES SUBTERRANEOS.

Los métodos empleados están supeditados principalmente a las condiciones locales, las formas más importantes y comunes de instalación de cables subterráneos son:

1. Enterrados directamente en el suelo.
2. En zanjas.
3. En conductos.
4. Al aire libre.
5. En túneles.

3.1.- CABLES ENTERRADOS DIRECTAMENTE EN EL SUELO.

Este método se ha utilizado hace mucho tiempo y se ha establecido reglas prácticas para su instalación: un cuidadoso tratamiento durante su colocación y relleno limpio del lecho, es decir sin piedras u otros objetos peligrosos. Este sistema es simple y en la mayoría de los casos el menos costoso, pero involucra la excavación del nicho del cable a lo largo de toda su ruta.

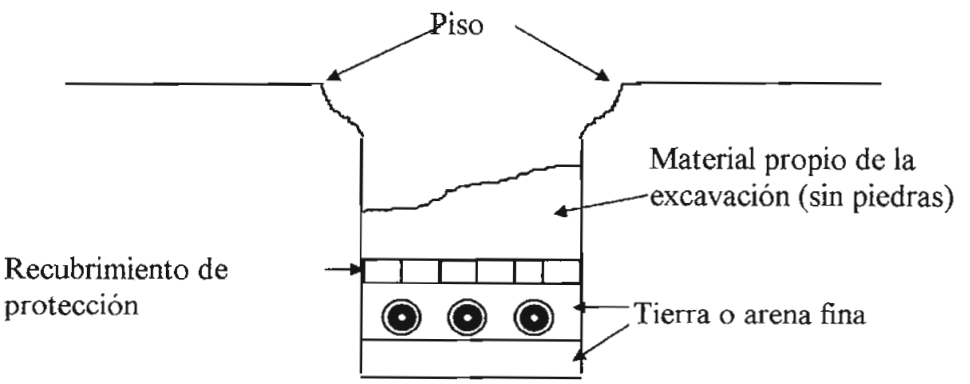


Figura 4.8. Materiales de relleno para la instalación de cables directamente enterrados

El canal, antes de colocar el cable debe ser acondicionado con una primera capa de tierra tamizada, luego sobre este lecho se asienta el cable y se rellena con

* Referencia : Tesis. Ing. Bayardo Raúl Villamarín Granda.

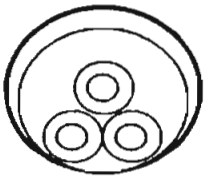
igual cantidad de tierra o arena fina y su ancho mínimo deberá tener en cuenta que los obreros puedan efectuar su trabajo con facilidad. El cruce de cables con otras instalaciones debe ser protegido por soportes de ladrillo o concreto.

3.2.- CABLES EN CONDUCTOS.

En áreas de congestión dentro de ciudades, donde la excavación de una zanja es cara e inconveniente o para instalaciones cortas, se utilizan conductos, puesto que la adición de nuevos cables a los ya existentes requiere un mínimo de trabajo y costo, cuando existen reparaciones se las puede realizar sin ruptura del piso.

Los cables en conductos, al compararlos con otros sistemas de instalación, tiene una menor capacidad de conducción, debido a la alta resistencia térmica del medio que los rodea, pues el aire que los envuelve al estar en un medio confinado no disipa con efectividad al calor. La capacidad de conducción de los cables se ve reducida por la cercanía de los otros y por la dificultad de una rápida disipación del calor.

En muchos casos los cables deben tener una funda protectora de plomo para evitar deterioros durante la instalación. Con cables tripolares es preferible que tengan una armadura de un solo conductor delgado. En caso que hubieren varios circuitos, éstos deberán adoptar una posición horizontal en lo posible; con cables monopolares, que conforman un sistema trifásico, se adopta una posición triangular, tal como se indica en la figura 4.9.



Cables monopolares en posición triangular

Figura 4.9.

3.3.- CABLES AL AIRE LIBRE, INSTALADOS EN SOPORTES ANGULARES (RACKS).

Esta forma de instalación es simple y económica, se utiliza en lugares donde es imposible realizar excavaciones o colocar ductos, es esencial tener una planificación detallada de las conexiones necesarias y los diagramas reales de la instalación, los soportes angulares deben ser de un material no magnético, como el latón o la madera, deben además soportar el peso de los cables en todo su trayecto. El espaciamiento óptimo entre soportes angulares depende del peso de los cables y de su rigidez mecánica.

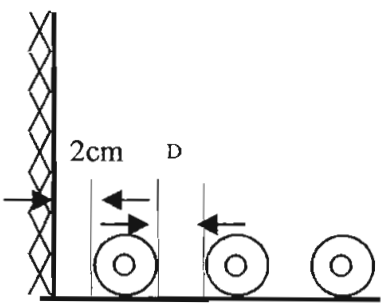


Figura 4.10. cables monopolares colocados en un soporte angular

3.4.- CABLES EN TÚNELES Ó CANALETAS.

Se lo usa cuando el número de cables a instalarse es grande, como por ejemplo en centrales, subestaciones, etc. Los túneles ó canaletas deben estar diseñados para contener un número mayor de cables que los previstos inicialmente. Estos túneles se usarán únicamente para la instalación de los cables y además deben poseer cierta ventilación para la extracción del aire caliente.

En la figura se puede observar un túnel con varios soportes angulares y con diferentes sistemas de conductores y un espacio suficiente para la realización del mantenimiento.

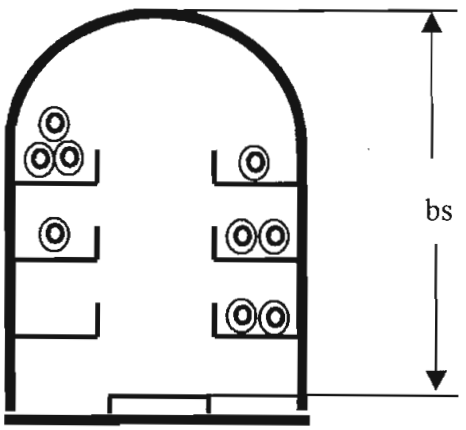


Figura 4.11. Cables sobre plataformas en túneles
bs = altura del túnel = 180 a 200 [cm]

En nuestro proyecto nos referiremos a cables instalados directamente en el suelo, tubos, zanjas, canaleta.

CAPITULO IV

NORMAS SOBRE CONDUCTORES A UTILIZARSE EN REDES SUBTERRANEAS

4.1.- SIMBOLOS UTILIZADOS EN CABLES SUBTERRANEOS SEGÚN LAS NORMAS VDE.

4.1.1.- CABLES CON AISLAMIENTO Y ENVOLTURA DE PLÁSTICO.

Las letras tienen el significado siguiente:

N Cable según VDE con conductores de cobre o aluminio (NA).

Y Aislamiento de protodur (primera Y en la sucesión de letras).

2Y Aislamiento de protothen (primera 2Y en la sucesión de letras).

H Capas conductoras sobre el conductor y el aislamiento, para limitar el campo eléctrico.

C Conductor concéntrico de cobre.

CW Conductores concéntricos de cobre de disposición ondulada en cables de 0,6/ 1 kV.

CE En cables de varios conductores, conductor concéntrico sobre cada alma del cable.

S Pantalla de cobre.

SE En cables de varios conductores, capas conductoras sobre el conductor y el aislamiento, para limitar el campo eléctrico y pantalla de cobre sobre el conductor.

T Cable soportante (en tendidos aéreos).

F Armadura de alambres planos de acero galvanizado (sirven igualmente como pantalla en cables de alta tensión).

R Armadura de alambres redondos de acero galvanizado (sirve igualmente como pantalla en cables de alta tensión).

Gb Hélice de fleje de acero o soporte en espiral (sobre armaduras F o R).

Y Envoltura de Protodur (segunda Y en la sucesión de letras).

2Y Envoltura de Protothen (segunda 2Y en la sucesión de letras).

Las letras vienen seguidas por datos referentes al número, la sección constitución de los conductores principales (activos) y del conductor neutro

(separado por una raya oblicua).

re conductor redondo monofilar

rm conductor redondo multifilar

se conductor sectorial monofilar

sm conductor sectorial multifilar.

La tensión nominal de los cables Protodur viene dada por U_0 (entre conductor y envoltura metálica a tierra) y U (entre fases) ; así por ejemplo $U_0/U = 5{,}8/10kV$.

4.1.2.- CABLES CON AISLAMIENTO DE PAPEL Y RECUBRIMIENTO METÁLICO.

Las letras indicadas tienen el siguiente significado:

S (precediendo a la N) Cables para explotaciones mineras (cables elásticos).

N Cables según las deerminaciones VDE con conductores de cobre o de

aluminio (NA).

H Cables de varios conductores con pantalla de papel metalizado sobre el aislamiento de los conductores (cable tipo H), por ejemplo HNKBA.

E (colocada detrás de N o de NA, por ejemplo, NEKBA). Cables con tres recubrimientos metálicos independientes, es decir, cables en los que cada uno de los tres conductores está rodeado por un recubrimiento metálico.

K Cable con recubrimiento de plomo.

KL Cable con recubrimiento de aluminio.

B Armadura de fleje de acero.

F Armadura cerrada de alambres planos de acero.

R Armadura cerrada de alambres redondos de acero.

Z Armadura de alambres de acero en forma Z.

A Envoltura exterior sencilla de yute (situada al final del tipo de designación, por ejemplo, NAKBA).

4.2.- DESIGNACION DE LOS CABLES SUBTERRANEOS DE ACUERDO A LAS NORMAS UNE.

Las normas UNE han establecido una designación abreviada para los cables subterráneos, de forma que puedan ser fácilmente identificados antes de su montaje. Estas designaciones se efectúa por medio de siglas que indican :

- Tipo constructivo del cable.
- Número, sección nominal, naturaleza y forma de los conductores.
- Tensión nominal en Kv.

El tipo constructivo se designa por un grupo de letras que caracterizan los elementos principales constitutivos del cable, en el orden sucesivo tecnológico de su elaboración.

La primera letra caracteriza el tipo de aislamiento de los conductores, sobreentendiendo los eventuales rellenos en los cables multipolares. Para identificar estos aislamientos, se emplean las siguientes letras:

P = papel impregnado.

V = poli cloruro de vinilo.

E = polietileno.

R = polietileno reticulado.

C = caucho natural vulcanizado.

B = caucho butílico.

K = caucho de silicona.

L = etileno-propileno.

La segunda letra indica si el cable es apantallado. Se emplea en los siguientes símbolos:

Sin indicación = no apantallado.

H = pantalla.

La segunda letra o la tercera letra indica la naturaleza de la envoltura metálica que rodea a los aislamientos de los conductores, de acuerdo con los símbolos siguientes :

P = tubo continuo de plomo

Al = tubo continuo liso de aluminio.

A = tubo corrugado de aluminio.

C = tubo corrugado de cobre.

Las armaduras se designan con las siguientes letras:

F = flejes de hierro o de acero

FA = flejes de aluminio.

M = alambres de hierro.

MA = alambres de aluminio.

Q = pletinas de hierro.

QA = pletinas de aluminio.

La última letra de la designación, indica la naturaleza de la cubierta exterior, de acuerdo con los siguientes símbolos :

J = fibras textiles impregnadas.

V = policloruro de vinilo.

G = caucho natural vulcanizado.

N = neopreno o equivalente.

K = caucho de silicona.

En las indicaciones relativas a los conductores, se expresa :

1. La cifra que corresponde al número de conductores seguida con una X .
2. La sección nominal de un conductor, expresada en mm^2.
3. En el caso de cables multipolares de almas con envoltura metálica individual, se indicará un conductor (1) seguido del signo X y de la sección nominal, todo ello dentro del paréntesis, precedido por el número de envolturas metálicas.

4. La forma de las cuerdas, de acuerdo con las indicaciones siguientes:

   Sin indicación = cuerda convencional.

   c = cuerda compacta .

   s = cuerda sectorial.

5. El material constituyente de los conductores según las siguientes indicaciones:

   Sin indicación = cobre.

   Al = aluminio.

La tensión nominal, para la cual se ha construido el cable, se expresará en KV, y designara los valores de E_0 y E.

Para aclarar los conceptos anteriores, a continuación se expone algunos ejemplos de designación de los cables:

- Cable unipolar, con conductor de aluminio de 95 mm^2 de sección, en cuerda compacta, aislamiento de papel impregnado, bajo tubo corrugado de aluminio, con cubierta de fibras textiles, para tensión nominal E_0 de 3,6 kV.

  Cable PAJ 1×95 c Al 3,6/6 kV.

- Cable tripolar, con conductores de cobre, de 35 mm^2 de sección sectorial cada uno, aislamiento de papel impregnado, bajo tubo continuo de plomo, con armadura de flejes de acero, cubierta exterior de policloruro de vinilo y tensión nominal E_0 = 6 kV.

  Cable PPFV 3×35 s 6/10 kV.

- Cable tripolar apantallado, conductores de aluminio de 70 mm^2 de sección cada uno, aislamiento de polietileno reticulado, envoltura de policloruro de vinilo, para tensión E_0 = 6 kV.

  Cable RHVFV 3×70 Al 6/10 kV.

4.2.1.- MARCAS : IDENTIFICACIÓN DEL CABLE

Los cables conforme con la presente norma, deberán llevar una marca indeleble que identifique claramente al fabricante, la designación completa del cable de acuerdo con esta norma y las dos últimas cifras del año de fabricación. Esta marca podrá ser realizada por impresión sobre una cinta o sobre la cubierta, o por grabado o por relieve sobre dicha cubierta.

4.2.2.- MATERIALES AISLANTES.

A continuación se indican los tipos de mezclas aislantes consideradas en esta norma y sus designaciones abreviadas.

4.2.2.1.- Mezclas termoplásticas.

- Mezcla aislante a base de policloruro de vinilo o de copolímero de cloruro de vinilo y de acetato de vinilo, para cables de tensiones nominales $E_0 / E \leq 1{,}8/3$ kV. Su designación abreviada es PVC/A.

- Mezcla aislante a base de policloruro de vinilo o de copolímero de cloruro de vinilo y de acetato de vinilo, para cables de tensiones nominales $E_0 / E \geq 1{,}8/3$ kV. Su designación abreviada es PVC/B.

- Mezcla aislante a base de polietileno termoplástico. Su designación abreviada es PE.

4.2.2.2.- Mezclas elastómeras o reticuladas.

- Mezcla aislante a base de goma de etileno propileno o producto similar (EPM ó EPDM). Su designación abreviada es PE.
- Mezcla aislante a base de polietileno reticulado químicamente. Su designación abreviada es XLPE.

4.2.3.- CABLEADO DE LOS CONDUCTORES AISLADOS, REVESTIMIENTOS INTERNOS Y RELLENOS.

4.2.3.1.- Diferentes tipos de cables multipolares.

El cableado de los conductores aislados de los cables multipolares depende de la tensión nominal y de las pantallas metálicas o semiconductoras que pueden aplicarse sobre cada conductor aislado.

4.2.3.2.- Cables de campo no radial de tensión nominal superior a 0,6/1 kv.

Los cables multipolares provistos de una armadura, de un conductor concéntrico o de cualquier otra protección metálica, deben tener un revestimiento interno colocado sobre el conjunto de los conductores aislados cableados.

4.2.3.3.- Cables de campo radial de tensión nominal superior a 0,6/1 kv y provisto de una pantalla metálica en cada conductor aislado.

Cumplen las mismas condiciones que los cables de campo no radial.

Además en el caso de cables que no tengan ni armadura, ni conductor concéntricos, ni otras protecciones metálicas concéntricas, podrán omitirse el revestimiento interno siempre que la forma exterior del cable *permanezca*

prácticamente cilíndrica y no haya adherencia entre los conductores aislados y la cubierta.

La cubierta puede penetrar en los intersticios existentes entre los conductores aislados, excepto en el caso de cubiertas termoplásticas aplicadas sobre conductores aislados circulares con conductores de sección superior a 10 mm^2.

4.2.3.4.- Cables de campo radial de tensión nominal superior a 0,6/1 kv con solo una pantalla metálica sobre el conjunto de los conductores aislados cableados .

De igual manera cumplen con las condicione de los cables de campo no radial.

El revestimiento interno debe ser semiconductor, los rellenos pueden ser semiconductores.

4.2.3.5.- Revestimiento interno y rellenos.

- El revestimiento interno puede ser extruído o encintado.
- En los cables con conductores aislados circulares, a excepción de los cables de más de cinco conductores aislados, solo se admitirá un revestimiento interno encintado si los intersticios entre los conductores aislados están convenientemente ocupados por elementos de relleno diferentes.
- El revestimiento interno y los rellenos serán de un material adecuado . Se permite utilizar una cinta adecuada, en forma de hélice abierta, para sujetar los conductores aislados cableados antes de la aplicación del revestimiento interno extruído.
- El material utilizado en los revestimientos internos y en los rellenos, debe ser apropiado para la temperatura de servicio del cable y compatible con el material del aislamiento.
- El espesor aproximado del revestimiento encintado debe ser de 0,4 mm en los diámetros ficticios de los conjuntos de conductores aislados cableados inferiores o iguales a 40 mm y de 0,6 mm en los diámetros superiores.

4.2.4.- CONDUCTORES EMPLEADOS EN LOS CABLES SUBTERRANEOS

Los conductores más utilizados son cableados de hilos de cobre recocido, o de hilos de aluminio semiduro, conforme a las especificaciones de la norma UNE. A continuación se indican las características técnicas en dichas normas para los materiales citados.

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS MATERIALES CONDUCTORES EMPLEADOS EN LOS CABLES SUBTERRÁNEOS .

CARACTERISTICAS	COBRE	ALUNMINIO
Resistividad a 20°C en $\Omega mm^2 / m$	0.01724	0.0282
Coeficiente de variación de temperatura por °C	0.00393	0.004
Resistencia a la rotura en Kg / mm^2	22 – 25	13 – 17
Alargamiento a la rotura en %	30 – 55	0.5 - 2.5
Coeficiente de dilatación lineal por °C	0.000017	0.000002
Peso especifico a 20°C en gr / cm^3	8.89	2.72

Tabla 4.1. Características técnicas del cobre y aluminio.

Para una misma resistencia eléctrica, la relación de las secciones de cobre y de aluminio, con iguales longitudes de cable es:

$$\frac{S_{Al}}{S_{Cu}} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = \frac{2.82}{1.72} = 1.64$$

es decir que:

$$S_{Al} = 1.64 * S_{Cu}$$

por otra parte, la relación entre los pesos de los conductores de aluminio y de cobre, para una misma resistencia eléctrica vale

$$1{,}64\frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} = 1{,}64\frac{2{,}272}{8{,}89} \approx 0{,}5$$

Por consiguiente, el aluminio parece preferible ya que su peso es la mitad que el de una sección equivalente de cobre. No obstante hay que tener en cuenta que el volumen del aluminio es mayor que el de cobre, entre secciones para una misma resistencia, por lo que también se requiere un mayor peso de aislamiento, cubierta y armadura. En general, los conductores de aluminio pueden compararse con los de cobre a partir de secciones de $35mm^2$.

4.3.- NORMAS BASADAS EN LAS PUBLCACIONES IPCEA – NEMA

4.3.1.- CARACTERISTICAS DE SISTEMAS EN EL CUAL EL CABLE PUEDE SER USADO.

- En corriente alterna o continua.
- Frecuencia – hertz.
- Operación normal del voltaje entre fases o , si es corriente continua entre conductores.
- Número de fases y conductores.
- Nivel de aislamiento del cable.
- Temperatura mínima a la cual el cable será instalado.
- Descripción de la instalación:
    a) En edificios.
    b) En ductos subterráneos.
    c) Aéreos.
    d) Directamente instalados en la tierra.
    e) Submarinos.
- Condiciones de la instalaciones.
    a) Temperatura ambiente.
    b) Factor de carga.
    c) Método de vinculación y formación básica de cubiertas metálicas.
    d) Sitio húmedo o seco.

4.3.2.- ESPECIFICACIONES ASTM DE CABLES

Los cables de cobre de designación ASTM B8 cuya construcción es trenzado concéntrico, clase B su aplicación es para conductores aislados con varios materiales como caucho, papel, cambray barnizado, etc. La materia prima utilizada en el alambrón de cobre debe tener una pureza del 99.9%.
Los cables ASTM B8 de clase C y D , cuya aplicación es para conductores que requieren mayor flexibilidad que la proporcionada por los de la clase B.
Los cables ASTM B 173 esta construido por un núcleo trenzado con miembros trenzados concéntricos, son de clase H , cuya aplicación se realiza en construcciones con conductores con una gama de áreas que van desde 5000000 circ .mils que emplean 61 miembros trenzados de 19 alambres c/u hasta el número14 AWG que contiene 7 miembros trenzados de 7 alambres c/u. Su uso típico es para cuerdas forradas con caucho, en conductores que requieren mayor flexibilidad como los usados sobre poleas y los conductores extra flexibles usados en ciertos aparatos.

Cables de aluminio especificación ASTM B231 construcción trenzado concéntrico, de clase B, tiene una aplicación para conductores que serán aislados con varios materiales como caucho, papel, tela barnizada, etc.,y para los conductores que requieren mayor flexibilidad.
Los cables trenzados concéntricos de clase C, D son aplicados para conductores en los que requieren mayor flexibilidad que la proporcionada por los conductores de la clase B.
A continuación indicaremos las designaciones de cables para media tensión según el tipo de aislamiento:

EP(R)	Fluorinated Ethylene Propylene: aislamiento de etileno-propileno fluorado.Ethylene Propylene (Rubber): aislamiento a base de etileno-propileno.
EPDM	Ethylene Propylene Dionomer: etileno-propileno dieno monómero.
FEP	Nombre abreviado para tetrafluoruroetileno-exafluoruropropileno, material aislante con excelentes propiedades eléctricas y químicas que se usan *en cables* categoría plenum.

Mi	Mineral Insulated: cable con aislamiento mineral de óxido de magnesio y cubierta de tubo de cobre o acero, para alta temperatura y resistencia al fuego, 90 a 250 °C.
MTW	Machine Tool Wire: conductor con aislamiento termoplástico para alambrado de máquinas herramientas.
PE	Polietileno, puede ser de los tipos HMWP,HDPE y LDPE.
PFA	PerFluoro-Alkoxy: cables para alta temperatura; ambiente seco, con aislamiento de Perfluoro-Alkoxy, hasta 200 °C.
PFAH	PerFluoro-Alkoxy Heat: PFA con temperaturas mayores de hasta 250 °C.
PVC	PolyVinyl Chloride: cloruro cle poli-vinilo, compuesto ampliamente usado como aislamiento y cubierta.
RHW	Rubber Heat Moisture (Water): cables con aislamiento y cubierta de hules sintéticos para75 °C en ambiente seco y húmedo.
RHW-2	Igual a RHW pero con aislamiento de 90 °C en ambiente seco y húmedo.
TFE	Cable para alta temperatura aislado con Teflón*, 250 °C.
UD	Underground Distribution: cables para distribución subterránea, también conocidos como cables DS.
UF	Underground Feeder: cable de uno o varios conductores con aislamiento y cubierta termoplástica para acometidas subterráneas en baja tensión.
USE	Underground Service Entrance: cable para acometidas subterráneas en baja tensión, aislamiento y cubiertas elastoméricas.
XLP	Cross (X)-Linked Polyethylene: polietileno de cadena cruzada, también conocida como polietileno vulcanizado o XLPE.
XT	Xmas Tree Cord: cordón paralelo, dos conductores aislados con PVC para series de árboles de navidad.

CAPITULO V

PROGRAMACIÓN Y MANUAL DEL USUARIO

5.1.- PROGRAMACION DIGITAL PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA.

La siguiente codificación corresponde al programa PRODIGITAL el cual se encuentra elaborado en el lenguaje MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0 , cuya base de datos se encuentra diseñada en ACCESS . Este programa tiene la función de calcular la capacidad de carga en condiciones normales y a diferentes formas de instalación, de cables subterráneos monopolares y tripolares de cobre y aluminio.

MENÚ PRINCIPAL:

```
Private Sub cmdentrar_Click()
   Timer2.Interval = 0

   frmmenu.Show  ' muestra el formulario del menú principal
   frmprincipal.Hide ' oculta el formulario de presentación

End Sub

Private Sub cmdsalir_Click()
  res = MsgBox("Desea salir del Programa ...?", 292, "Digital Ver. 1.0")
  If res = 6 Then
     End
  End If

End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
  lbltitulo1(1).Top = 9000
  lbltitulo1(3).Left = -6000
  lbltitulo1(2).Top = -1000
End Sub

Private Sub Image1_Click()

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
  If lbltitulo1(0).Left > 2000 Then
      lbltitulo1(1).Visible = True
      If lbltitulo1(1).Top < 1800 Then
          If lbltitulo1(2).Top > 3840 Then
              Timer1.Interval = 0

              Timer2.Interval = 1000

           Else
           lbltitulo1(2).Top = lbltitulo1(2).Top + 100
          End If
       Else
         lbltitulo1(1).Top = lbltitulo1(1).Top - 100
      End If
    Else

    lbltitulo1(0).Left = lbltitulo1(0).Left + 100
    lbltitulo1(3).Left = lbltitulo1(3).Left + 100
   End If

End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Timer()
cmdentrar_Click
End Sub
```

MENÚ :

```
Private Sub ayuda_Click(Index As Integer)
If Index = 1 Then
   frmayuda.Show
 End If

If Index = 3 Then
   acerca.Show
 End If
End Sub

Private Sub capacidad_Click(Index As Integer)
If Index = 1 Then
   FRMCAL_MONOhaz.Show
  Else
    FRMCAL_MONOPLANO.Show
 End If
End Sub

Private Sub Capacidades_Click(Index As Integer)
If Index = 3 Then
   frmCal_Carga.Show
 End If
End Sub

Private Sub Inet1_StateChanged(ByVal State As Integer)

End Sub
```

```
Private Sub Command1_Click()
ser1.Nav "AYUDA.HTM"
End Sub

Private Sub Form_Load()
frmprincipal.Timer1.Interval = 0
frmprincipal.Timer2.Interval = 0
End Sub


Private Sub MENU_Click(Index As Integer)
If Index = 3 Then
  frmmante.Show
End If
If Index = 5 Then
  res = MsgBox("Abandona el Programa ..?", 292, "Prodigital")
  If res = 6 Then
     End
  End If
End If
End Sub

Private Sub Monopolar_Click(Index As Integer)
If Index = 1 Then
   frmCal_Carga.Show
End If
End Sub


Private Sub Scriptlet1_onscriptletevent(ByVal name As String, ByVal eventData
As Variant)

End Sub
```

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE CABLES MONOPOLARES DISPOCICIÓN EN HAZ Y EN CONDICIONES NORMALES.

```
Dim n As Integer, cons As Double
Dim res As Recordset
Dim db As Database
Private Sub Calculo()
'*** calculo de sen (resistencia del sol)
   X1 = Round((4 * Val(txtprofundidad.Text)), 3)
   X2 = Val(TXTDIAMETRO.Text) / 10
   in1 = X4
   CAP = in1
   Txtcapacidad.Text = Round(in1, 0)
End Sub

Private Sub cboaislamiento_Click()
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
RESIS.Text = ""
DBOTENSION = ""
Txtcapacidad = ""
DBOTENSION = ""
AISLAMIENTO1= "' + cboaislamiento + "')"
Data1.Refresh

End Sub

Private Sub cboaislamiento_KeyPress(KeyAscii As Integer)
KeyAscii = 0
End Sub
```

```
Private Sub cbotipoconduc_Click()
diametro.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""    ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada '
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
txtperdida.Text = ""     ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
RESIS.Text = ""
cboaislamiento = ""
Txtcapacidad = ""
cboaislamiento = ""
If Len(Trim(cbotipoconduc)) > 0 Then
   Frame1.Enabled = True
End If

' BORRAR OBJETOS
  DBOTENSION = ""
  DBOTIPO = ""
  DBOSECCION = ""
  CBOHILOS = ""
  diametro = ""

  Txtcapacidad = ""
  TXTTEMP = ""
  TXTDIAMETRO = ""
  TXTRESISTIVI = ""

'*  PROCESOS ****
elevatemp  WHERE tipo=1 "
  Data1.Refresh

If Trim(cbotipoconduc.Text) = "Cobre" Then

   TXTRESISTIVI.Text = 17.241
```

```
    cons = 0.00393
  Else
    TXTRESISTIVI.Text = 28.264
    cons = 0.00403
 End If
End Sub

Private Sub cmdregresar_Click()
If Val(Txtcapacidad) = 0 Then
   MsgBox "No se ha realizado ningún cálculo ...!", 48
 Else
    frmcal_monoanor.Show
    frmcal_monoanor.txtaislamiento = cboaislamiento

End If

End Sub

Private Sub Command1_Click()
res.Close
db.Close
frmmenu.Show
Unload FRMCAL_MONOPLANO
End Sub

Private Sub DBOSECCION_Click(Area As Integer)
'*** determinr el diametro del cable

' Proceso para buscar la temperatura en base a la tensión
If res.RecordCount = 0 Then ' determina el numero de registros
  MsgBox "Tabla Vacía ...!", 16
  Else                          ' caso contrario
   diametro.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
```

```
        TXTDIAMETRO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
        hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
        txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
        RESIS.Text = ""
      res.MoveFirst          ' mueve el puntero al primer registro
      Do While Not res.EOF   'inicio de lazo mientras no sea fin de archivo
         If res!tension = DBOTENSION.Text And Trim(res!tipocable) =
DBOTIPO.Text And res!AWG = DBOSECCION.Text And Val(res!TIPOCONS) = 1
And res!conduct = (cbotipoconduc.ListIndex + 1) And res!disposicion = "HAZ"
Then        ' compara la tensión con la seleccionada en el combo
            diametro.Text = res!diamxhilo      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
            TXTDIAMETRO.Text = res!diametro      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
            hilos.Text = res!numhilos      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
            txtperdida.Text = res!perdidas      ' coloca la perdidas de la tensión
seleccionada'
            RESIS.Text = res!resADICIONAL      ' coloca la resistencia de la tensión
seleccionada'
            If res!AWG = "4 AWG" Or res!AWG = "2 AWG" Or res!AWG = "1/0 AWG"
Or res!AWG = "2/0 AWG" Or res!AWG = "3/0 AWG" Then
                NUMSECCION2 = Val(Mid(res!numseccion, 3, 2))
              Else
                NUMSECCION2 = Val(Mid(res!numseccion, 3, 3))
             End If
             If Val(res!numhilos) > 0 Then
                Call Calculo
             End If

             Exit Do               ' sale del ciclo
          End If
```

```
        res.MoveNext      ' mueve el puntero al siguiente registro
    Loop                  ' cierra el ciclo
End If
End Sub

Private Sub DBOTENSION_Click(Area As Integer)
' Proceso para buscar la temperatura en base a la tensión
If Data1.Recordset.RecordCount = 0 Then ' determina el numero de registros
  MsgBox "Tabla Vacía ...!", 16
 Else                         ' caso contrario
    DBOTIPO.Text = ""
    Txtcapacidad.Text = ""
    Data1.Recordset.MoveFirst        ' mueve el puntero al primer registro
    Do While Not Data1.Recordset.EOF   'inicio de lazo mientras no sea fin de
archivo
       If Data1.Recordset.Fields("tension") = DBOTENSION Then  ' compara la
tensión con la seleccionada en el combo
          TXTTEMP.Text = Data1.Recordset.Fields("elevtemsub")      ' coloca la
temperatura de la tensión selecionada
          Exit Do             ' sale del ciclo
       End If
       Data1.Recordset.MoveNext      ' mueve el puntero al siguiente registro
    Loop                     ' cierra el ciclo
End If                       ' fin del if

If Trim(cbotipoconduc.Text) = "Cobre" Then

Data2.Refresh
DBOTIPO.Refresh

End Sub

Private Sub DBOTIPO_Click(Area As Integer)
```

```
diametro.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
txtperdida.Text = ""       ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
RESIS.Text = ""
Txtcapacidad = ""

Data3.Refresh
 DBOSECCION.Refresh
 DBOSECCION.Text = ""
 Txtcapacidad.Text = ""
End Sub

Private Sub diametro_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Txtcapacidad = ""
  If (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57) Or KeyAscii = 44 Or KeyAscii = 8 Or
KeyAscii = 13 Then
          If KeyAscii = 13 Then
            If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
             Call Calculo
            End If
         End If
      Else
       KeyAscii = 0
  End If
End Sub

Private Sub diametro_LostFocus()
 If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
   Call Calculo
  End If

End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
'*********************************************************
'* programa:
'* Autor   :
'* Descripción:
'* fecha Creación:
'* fecha Modificación:
'*********************************************************

' **** APERTURA DE LOS ARCHIVOS
Set db = OpenDatabase("C:\TESIS\CABLES.MDB")
Set res = db.OpenRecordset("RESYPERDI")
n = 1
txtprofundidad.Text = 70
End Sub

Private Sub hilos_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Txtcapacidad = ""
  If (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57) Or KeyAscii = 44 Or KeyAscii = 8 Or
KeyAscii = 13 Then
         If KeyAscii = 13 Then
           If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
           End If
         End If
     Else
      KeyAscii = 0
  End If

End Sub

Private Sub hilos_LostFocus()
Txtcapacidad = ""
```

```
 If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
 End If

End Sub


Private Sub TXTDIAMETRO_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Txtcapacidad = ""
 If (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57) Or KeyAscii = 44 Or KeyAscii = 8 Or
KeyAscii = 13 Then
        If KeyAscii = 13 Then
          If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
           Call Calculo
          End If
        End If
    Else
     KeyAscii = 0
 End If
End Sub

Private Sub TXTDIAMETRO_LostFocus()
Txtcapacidad = ""
 If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
  Call Calculo
 End If

End Sub
```

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE CABLES MONOPOLARES, EN DIFERENTES FORMAS DE INSTALACIÓN:

```
Dim db As Database
Dim tem, agru, res1, TUB As Recordset
```

```
Dim fac, facon, FAC2, fac3, NUMCON As Double

Private Sub CBOINSTALACION_Click()
TXTCAP = ""
Label9.Visible = True
CBORESIS.Visible = True

If CBOINSTALACION.ListIndex = 2 Then
    NUMTUBOS.Visible = True
    Label6.Visible = True
    NUMTUBOS.Text = ""
    Label8.Visible = False
    CBONUMCABLES.Visible = False
    facon = 1
    TXTCAP.Text = ""
  Else
  If CBOINSTALACION.ListIndex = 3 Then
      Label8.Caption = "No. DE CABLES        :"
      Label9.Visible = False
      CBORESIS.Visible = False
      Label6.Visible = False
      Label8.Visible = True
      CBONUMCABLES.Visible = True
      NUMTUBOS.Visible = False
      fac3 = 0.82

      TXTCAP = ""
    Else
    NUMTUBOS.Visible = False
    Label6.Visible = False
    Label8.Visible = True
    CBONUMCABLES.Visible = True
    fac3 = 1
```

```
    End If
End If

If Len(Trim(CBOINSTALACION.Text)) = 0 Then
     Frame1.Enabled = False
   Else
     Frame1.Enabled = True
End If
If CBOINSTALACION.Text = "En Zanjas" Then
    Label8.Caption = "No. DE SISTEMAS      :"
    CBONUMCABLES.Clear
    CBONUMCABLES.AddItem "1"
    CBONUMCABLES.AddItem "2"
    CBONUMCABLES.AddItem "3"
    CBONUMCABLES.AddItem "4"

    Label15.Visible = True
    CBORECUBRE.Visible = True
   Else
    Label8.Caption = "No. DE CABLES        :"
    CBONUMCABLES.Clear
    CBONUMCABLES.AddItem "1"
    CBONUMCABLES.AddItem "2"
    CBONUMCABLES.AddItem "3"
    CBONUMCABLES.AddItem "4"
    CBONUMCABLES.AddItem "5"
    CBONUMCABLES.AddItem "6"
    CBONUMCABLES.AddItem "8"
    CBONUMCABLES.AddItem "10"

    Label15.Visible = False
    CBORECUBRE.Visible = False
```

```
 End If
 If Len(Trim(txtaislamiento)) > 0 And Val(CBONUMCABLES) > 0 Then
   fac3 = 1
   Call cbotemmedio_Click
   Else
    TXTCAP = ""
End If
End Sub

Private Sub CBONUMCABLES_Click()
NUMCON = CBONUMCABLES
If CBOINSTALACION.Text = "En Zanjas" Then
   X = 2
  Else
   X = 3
End If

agru.MoveFirst
 Do While Not agru.EOF
    If agru!ncz = CBONUMCABLES And agru!tipo = X Then
       facon = Val(agru!FACTCONV)
       Exit Do
    End If
  agru.MoveNext
 Loop

End Sub

Private Sub cbotemmedio_Click()
tem.MoveFirst
Do While Not tem.EOF
    If tem!tmadc = cbotempad And tem!tmamb = cbotemmedio And
tem!AISLAMIENTO = txtaislamiento Then
```

```
        fac = Val(tem!facreduc)
        Exit Do
    End If
    tem.MoveNext
Loop
 If CBOINSTALACION.ListIndex = 3 Then
    FAC2 = 1
  End If
Call calculolanormal

End Sub

Private Sub cbotempad_Click()
Call cbotemmedio_Click
End Sub

Private Sub cmdregresar_Click()
r = MsgBox("Abandona el Proceso ..?", 36)
If r = 6 Then

 tem.Close
 agru.Close
 res1.Close
 TUB.Close
  db.Close
frmmenu.Show
Unload FRMCAL_MONOhaz
Unload frmcal_monoanorhaz
End If
End Sub

Private Sub Form_Activate()
If Len(Trim(txtaislamiento)) > 0 Then
```

```
   ten = FRMCAL_MONOhaz.DBOTENSION
   SEC = Val(FRMCAL_MONOhaz.NUMSECCION2)
   If SEC = 12 Then
      SEC = 120
   End If
  If Val(TXTCAP) >= 0 Then
     Call CBORESIS_Click
  End If

   Call cbotemmedio_Click
 End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Set db = OpenDatabase("c:\tesis\cables.mdb")
Set tem = db.OpenRecordset("temmamb")
Set agru = db.OpenRecordset("agrupbt")
Set res1 = db.OpenRecordset("restersue")
Set TUB = db.OpenRecordset("TENDTHIE")
fac3 = 1
fac = 0
facon = 0
FAC2 = 0

End Sub

Private Sub NUMTUBOS_Click()
NUMCON = NUMTUBOS.Text
  TUB.MoveFirst
  Do While Not TUB.EOF
     If TUB!NTUBOS = Val(NUMTUBOS) Then
        fac3 = Val(TUB!FACTCONV)
        Exit Do
```

```
    End If
    TUB.MoveNext
  Loop

   Call cbotemmedio_Click

End Sub

Private Sub retornar_Click()
FRMCAL_MONOhaz.Show
End Sub
```

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE CABLES MONOPOLARES DISPOSICIÓN EN EL PLANO Y EN CONDICIONES NORMALES:

```
Dim n As Integer, cons As Double
Dim res As Recordset
Dim db As Database
Private Sub cboaislamiento_Click()
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
RESIS.Text = ""
DBOTENSION = ""
Txtcapacidad = ""
DBOTENSION = ""
Data1.Refresh

End Sub

Private Sub cboaislamiento_KeyPress(KeyAscii As Integer)
KeyAscii = 0
```

```
End Sub

Private Sub cbotipoconduc_Click()
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
RESIS.Text = ""
cboaislamiento = ""
Txtcapacidad = ""
cboaislamiento = ""
If Len(Trim(cbotipoconduc)) > 0 Then
   Frame1.Enabled = True
End If

' BORRAR OBJETOS
  DBOTENSION = ""
  DBOTIPO = ""
  DBOSECCION = ""
  CBOHILOS = ""
  diametro = ""

  Txtcapacidad = ""
  TXTTEMP = ""
  TXTDIAMETRO = ""
  TXTRESISTIVI = ""

'*  PROCESOS ****
  Data1.Refresh

If Trim(cbotipoconduc.Text) = "Cobre" Then

   TXTRESISTIVI.Text = 17.241
```

```
    cons = 0.00393
  Else
    TXTRESISTIVI.Text = 28.264
    cons = 0.00403
 End If
End Sub

Private Sub cmdregresar_Click()
If Val(Txtcapacidad) = 0 Then
   MsgBox "No se ha realizado ningún cálculo ...!", 48
  Else
    frmcal_monoanor.Show
    frmcal_monoanor.txtaislamiento = cboaislamiento

End If
End Sub
Private Sub Command1_Click()
res.Close
db.Close
frmmenu.Show
Unload FRMCAL_MONOPLANO
End Sub

Private Sub DBOSECCION_Click(Area As Integer)
'*** determinr el diametro del cable

' Proceso para buscar la temperatura en base a la tensión
If res.RecordCount = 0 Then ' determina el numero de registros
   MsgBox "Tabla Vacía ...!", 16
  Else                          ' caso contrario
   diametro.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
       TXTDIAMETRO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión
selecionada}
```

```
        hilos.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
        txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
        RESIS.Text = ""
      res.MoveFirst         ' mueve el puntero al primer registro'
      Do While Not res.EOF   'inicio de lazo mientras no sea fin de archivo'
         If res!tension = DBOTENSION.Text And Trim(res!tipocable) =
DBOTIPO.Text And res!AWG = DBOSECCION.Text And Val(res!TIPOCONS) = 1
And res!conduct = (cbotipoconduc.ListIndex + 1) And res!disposicion = "HAZ"
Then        ' compara la tensión con la seleccionada en el combo
           diametro.Text = res!diamxhilo      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
           TXTDIAMETRO.Text = res!diametro      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
           hilos.Text = res!numhilos      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
           txtperdida.Text = res!perdidas      ' coloca la perdidas de la tensión
seleccionada'
           RESIS.Text = res!resADICIONAL      ' coloca la resistencia de la tensión
seleccionada'
           If res!AWG = "4 AWG" Or res!AWG = "2 AWG" Or res!AWG = "1/0 AWG"
Or res!AWG = "2/0 AWG" Or res!AWG = "3/0 AWG" Then
                NUMSECCION2 = Val(Mid(res!numseccion, 3, 2))
             Else
                NUMSECCION2 = Val(Mid(res!numseccion, 3, 3))
            End If
            If Val(res!numhilos) > 0 Then
                Call Calculo
             End If

            Exit Do              ' sale del ciclo
         End If
         res.MoveNext     ' mueve el puntero al siguiente registro
      Loop                    ' cierra el ciclo
```

```
 End If
End Sub

Private Sub DBOTENSION_Click(Area As Integer)
' Proceso para buscar la temperatura en base a la tensión
If Data1.Recordset.RecordCount = 0 Then ' determina el numero de registros
  MsgBox "Tabla Vacía ...!", 16
 Else                          ' caso contrario
    DBOTIPO.Text = ""
    Txtcapacidad.Text = ""
    Data1.Recordset.MoveFirst        ' mueve el puntero al primer registro
    Do While Not Data1.Recordset.EOF   'inicio de lazo mientras no sea fin de
archivo
       If Data1.Recordset.Fields("tension") = DBOTENSION Then  ' compara la
tensión con la seleccionada en el combo
          TXTTEMP.Text = Data1.Recordset.Fields("elevtemsub")      ' coloca la
temperatura de la tensión selecionada
          Exit Do              ' sale del ciclo
       End If
       Data1.Recordset.MoveNext     ' mueve el puntero al siuiente registro
    Loop                         ' cierra el ciclo
 End If                          ' fin del if

 If Trim(cbotipoconduc.Text) = "Cobre" Then

Data2.Refresh
 DBOTIPO.Refresh

End Sub

Private Sub DBOTIPO_Click(Area As Integer)
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
```

```
hilos.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada
txtperdida.Text = ""       ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada
RESIS.Text = ""
Txtcapacidad = ""

DBOSECCION.Refresh
 DBOSECCION.Text = ""
 Txtcapacidad.Text = ""
End Sub

Private Sub diametro_KeyPress(KeyAscii As Integer)
Txtcapacidad = ""
  If (KeyAscii >= 48 And KeyAscii <= 57) Or KeyAscii = 44 Or KeyAscii = 8 Or
KeyAscii = 13 Then
          If KeyAscii = 13 Then
            If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
             Call Calculo
            End If
         End If
      Else
       KeyAscii = 0
  End If
End Sub

Private Sub diametro_LostFocus()
 If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
   Call Calculo
  End If

End Sub

Private Sub Form_Load()
'*******************************************************
```

```
'* programa:
'* Autor   :
'* Descripción:
'* fecha Creación:
'* fecha Modificación:
'*********************************************************

' **** APERTURA DE LOS ARCHIVOS
Set db = OpenDatabase("C:\TESIS\CABLES.MDB")
Set res = db.OpenRecordset("RESYPERDI")
n = 1
txtprofundidad.Text = 70
End Sub

End Sub
```

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE CABLES MONOPOLARES EN DIFERENTES FORMAS DE INSTALACIÓN:

```
Dim db As Database
Dim tem, agru, res1, TUB As Recordset
Dim fac, facon, FAC2, fac3, NUMCON As Double

Private Sub CBONUMCABLES_Click()
NUMCON = CBONUMCABLES
If CBOINSTALACION.Text = "En Zanjas" Then
   X = 1
  Else
   X = 3
End If

agru.MoveFirst
 Do While Not agru.EOF
```

```
    If agru!ncz = CBONUMCABLES And agru!tipo = X Then
       facon = Val(agru!FACTCONV)
       Exit Do
    End If
  agru.MoveNext
 Loop
End Sub

Private Sub CBORECUBRE_Click()
If CBORECUBRE.ListIndex = 0 Then
   fac3 = 1
  Else
    If CBORECUBRE.ListIndex = 1 Then
       fac3 = 0.84
      Else
        fac3 = 0.82
     End If
  End If
If Len(Trim(TXTAISLAMIENTO)) > 0 And Val(CBONUMCABLES) > 0 Then
End If
End Sub

Private Sub cbotempad_Click()
Call cbotemmedio_Click
End Sub

Private Sub cmdregresar_Click()
r = MsgBox("Abandona el Proceso ..?", 36)
If r = 6 Then

 tem.Close
 agru.Close
 res1.Close
```

```
 TUB.Close
  db.Close
frmmenu.Show
frmcal_monoanor.Hide
Unload FRMCAL_MONOPLANO
Unload frmcal_monoanor
End If
End Sub

Private Sub Form_Activate()
If Len(Trim(TXTAISLAMIENTO)) > 0 Then
    ten = FRMCAL_MONOPLANO.DBOTENSION
    SEC = Val(Mid(FRMCAL_MONOPLANO.DBOSECCION, 3, 2))
    If SEC = 12 Then
       SEC = 120
    End If
   If Val(TXTCAP) >= 0 Then
      Call CBORESIS_Click
   End If

    Call cbotemmedio_Click
 End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Set db = OpenDatabase("c:\tesis\cables.mdb")
Set tem = db.OpenRecordset("temmamb")
Set agru = db.OpenRecordset("agrupbt")
Set res1 = db.OpenRecordset("restersue")
Set TUB = db.OpenRecordset("TENDTHIE")
fac3 = 1
fac = 0
facon = 0
```

```
FAC2 = 0
TXTAISLAMIENTO = FRMCAL_MONOPLANO.cboaislamiento
End Sub
Private Sub Image1_Click()
End Sub
Private Sub NUMTUBOS_Click()
NUMCON = NUMTUBOS.Text
 TUB.MoveFirst
  Do While Not TUB.EOF
     If TUB!NTUBOS = Val(NUMTUBOS) Then
        fac3 = Val(TUB!FACTCONV)
        Exit Do
     End If
     TUB.MoveNext
  Loop
   Call cbotemmedio_Click
End Sub

Private Sub retornar_Click()
FRMCAL_MONOPLANO.Show

End Sub
```

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE CABLES TRIPOLARES EN CONDICIONES NORMALES:

```
Dim n As Integer, cons As Double
Dim res As Recordset
Dim db As Database

Private Sub CBOHILOS_Change()
Call Calculo
End Sub
```

```
Private Sub cboaislamiento_Click()
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada'
RESIS.Text = ""
DBOTENSION = ""
Txtcapacidad = ""

End Sub
Private Sub cboaislamiento_KeyPress(KeyAscii As Integer)
KeyAscii = 0
End Sub

Private Sub cbotipoconduc_Click()
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada
txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada
RESIS.Text = ""
cboaislamiento = ""
Txtcapacidad = ""

cboaislamiento = ""
If Len(Trim(cbotipoconduc)) > 0 Then
   Frame1.Enabled = True
End If

' BORRAR OBJETOS
 DBOTENSION = ""
 DBOTIPO = ""
 DBOSECCION = ""
```

```
  CBOHILOS = ""
  diametro = ""

  Txtcapacidad = ""
  TXTTEMP = ""
  TXTDIAMETRO = ""
  TXTRESISTIVI = ""

'*  PROCESOS ****

If Trim(cbotipoconduc.Text) = "Cobre" Then

    TXTRESISTIVI.Text = 17.241
     cons = 0.00393
  Else
    TXTRESISTIVI.Text = 28.264
     cons = 0.00403
 End If
End Sub
Private Sub cmdregresar_Click()
If Val(Txtcapacidad) = 0 Then
    MsgBox "No se ha realizado ningún cálculo ...!", 48
  Else
    frmCal_Carga.Hide
    frmcal_carg2.Show
    frmcal_carg2.TXTAISLAMIENTO = cboaislamiento
End If
End Sub
Private Sub Command1_Click()
frmmenu.Show
Unload frmCal_Carga
End Sub
```

```
Private Sub DBOTIPO_Click(Area As Integer)
diametro.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTDIAMETRO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
hilos.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada
txtperdida.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada
RESIS.Text = ""
Txtcapacidad = ""

Data3.Refresh
 DBOSECCION.Refresh
 DBOSECCION.Text = ""
 Txtcapacidad.Text = ""
End Sub
End Sub
Private Sub Form_Load()
'*********************************************************
'* programa:
'* Autor   :
'* Descripción:
'* fecha Creación:
'* fecha Modificación:
'*********************************************************

' **** APERTURA DE LOS ARCHIVOS
Set db = OpenDatabase("C:\TESIS\CABLES.MDB")
Set res = db.OpenRecordset("RESYPERDI")
res.Index = "TENSION"
n = 3
txtprofundidad.Text = 70
End Sub

Private Sub hilos_LostFocus()
Txtcapacidad = ""
```

```
 If Val(hilos) > 0 And Val(diametro) > 0 And Val(TXTDIAMETRO) > 0 Then
 End If

End Sub

Private Sub TXTDIAMETRO_LostFocus()
Txtcapacidad = ""

End Sub
```

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE CABLES TRIPOLARES EN DIFERENTES FORMAS DE INSTALACIÓN:

```
Dim db As Database
Dim tem, agru, res1, TUB As Recordset
Dim fac, facon, FAC2, fac3 As Double

Private Sub txtaislamiento_Click()
fac = 0
tem.MoveFirst
Do While Not tem.EOF
        Exit Do
   tem.MoveNext
Loop
Call calculolanormal

End Sub
Private Sub CBOINSTALACION_Click()
TXTCAP = ""
Label9.Visible = True
CBORESIS.Visible = True

If CBOINSTALACION.ListIndex = 2 Then
```

```
    NUMTUBOS.Visible = True
    Label6.Visible = True
    NUMTUBOS.Text = ""
    Label8.Visible = False
    CBONUMCABLES.Visible = False
    facon = 1
    TXTCAP.Text = ""
  Else
  If CBOINSTALACION.ListIndex = 3 Then
      Label8.Caption = "No. DE CABLES        :"
      Label9.Visible = False
      CBORESIS.Visible = False
      Label6.Visible = False
      Label8.Visible = True
      CBONUMCABLES.Visible = True
      NUMTUBOS.Visible = False
     TXTCAP = ""
    Else
    NUMTUBOS.Visible = False
    Label6.Visible = False
    Label8.Visible = True
    CBONUMCABLES.Visible = True
    fac3 = 1
  End If
End If

If Len(Trim(CBOINSTALACION.Text)) = 0 Then
    Frame1.Enabled = False
  Else
    Frame1.Enabled = True
End If
If CBOINSTALACION.Text = "En Zanjas" Then
   Label8.Caption = "No. DE SISTEMAS      :"
```

```
    CBONUMCABLES.Clear
    CBONUMCABLES.AddItem "1"
    CBONUMCABLES.AddItem "2"
    CBONUMCABLES.AddItem "3"
    CBONUMCABLES.AddItem "4"

    Label15.Visible = True
    CBORECUBRE.Visible = True
   Else
    Label8.Caption = "No. DE CABLES          :"
    CBONUMCABLES.Clear
    CBONUMCABLES.AddItem "1"
    CBONUMCABLES.AddItem "2"
    CBONUMCABLES.AddItem "3"
    CBONUMCABLES.AddItem "4"
    CBONUMCABLES.AddItem "5"
    CBONUMCABLES.AddItem "6"
    CBONUMCABLES.AddItem "8"
    CBONUMCABLES.AddItem "10"


    Label15.Visible = False
    CBORECUBRE.Visible = False

  End If
  If Len(Trim(txtaislamiento)) > 0 And Val(CBONUMCABLES) > 0 Then
End If

End Sub

Private Sub Label11_Click()
End Sub
```

```
Private Sub CBONUMCABLES_Click()
 agru.MoveFirst
 Do While Not agru.EOF
    If agru!ncz = CBONUMCABLES And agru!tipo = 3 Then
       Exit Do
    End If
  agru.MoveNext
 Loop

End Sub


Private Sub CBORECUBRE_Click()
If CBORECUBRE.ListIndex = 0 Then
   fac3 = 1
  Else
    If CBORECUBRE.ListIndex = 1 Then
       fac3 = 0.84
     Else
       fac3 = 0.82
    End If
 End If
If Len(Trim(txtaislamiento)) > 0 Then
End If
End Sub

Private Sub CBORESIS_Click()
ten = frmCal_Carga.DBOTENSION
SEC = Val(frmCal_Carga.NUMSECCION2)
If SEC = 12 Then
   SEC = 120
End If
FAC2 = 0
```

```
res1.MoveFirst
Do While Not res1.EOF
   If res1!tension = ten And (SEC >= res1!seccioni And SEC <= res1!seccionf) And
res1!RESTERM = CBORESIS Then
      If txtaislamiento = "PLASTICO" Then
         If res1!aislamieno = "PLASTICO" Then
            Exit Do
          End If
        Else
         If res1!aislamiento1 = "PAPEL" Then
            Exit Do
          End If
       End If
    End If
  res1.MoveNext
Loop

End Sub

Private Sub cbotemmedio_Click()
fac = 0
tem.MoveFirst
Do While Not tem.EOF
    If tem!tmadc = Val(cbotempad) And tem!tmamb = Val(cbotemmedio) And
txtaislamiento = Trim(tem!AISLAMIENTO) Then
         fac = Val(tem!facreduc)
         Exit Do
    End If
    tem.MoveNext
Loop
Call calculolanormal

End Sub
```

```
Private Sub cbotempad_Click()
Call cbotemmedio_Click

End Sub

Private Sub cmdregresar_Click()
r = MsgBox("Abandona el Proceso ..?", 36)
If r = 6 Then
   res1.Close
   agru.Close
   tem.Close
   TUB.Close
   db.Close

   frmmenu.Show
   Unload frmCal_Carga
   Unload frmcal_carg2
End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()

End Sub

Private Sub Form_Activate()
If Len(Trim(txtaislamiento)) > 0 Then
   ten = frmCal_Carga.DBOTENSION
   SEC = Val(Mid(frmCal_Carga.DBOSECCION, 3, 2))
   If SEC = 12 Then
      SEC = 120
   End If
   If Val(TXTCAP) >= 0 Then
     Call CBORESIS_Click
```

```
  End If
   Call cbotemmedio_Click
End If

End Sub

Private Sub Form_Load()
Set db = OpenDatabase("c:\tesis\cables.mdb")
Set tem = db.OpenRecordset("temmamb")
Set agru = db.OpenRecordset("agrupbt")
Set res1 = db.OpenRecordset("restersue")
Set TUB = db.OpenRecordset("TENDTHIE")
fac3 = 1
End Sub

Private Sub NUMTUBOS_Click()

  TUB.MoveFirst
  Do While Not TUB.EOF
     If TUB!NTUBOS = Val(NUMTUBOS) Then
        fac3 = Val(TUB!FACTCONV)
        Exit Do
     End If
     TUB.MoveNext
  Loop
   Call cbotemmedio_Click
End Sub

Private Sub retornar_Click()
frmCal_Carga.Show
frmcal_carg2.Hide
End Sub
```

MANTENIMIENTO:

```
Dim db As Database
Dim res1, ele As Recordset

Private Sub CBODISPOSICION_Click()
If res1.RecordCount = 0 Then ' determina el numero de registros
  MsgBox "Tabla Vacía ...!", 16
 Else                          ' caso contrario
     TXTDIAMHILO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
     TXTDIAMETRO.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
     TXTNUMHILOS.Text = ""     ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
     TXTPERDIDAS = ""
     TXTRESISEFICAZ.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión
seleccionada'
     TXTRESISADI.Text = ""
    res1.MoveFirst         ' mueve el puntero al primer registro
    Do While Not res1.EOF   'inicio de lazo mientras no sea fin de archivo
      If cbosec.ListIndex = 0 Then
           TXTDIAMHILO.Text = res1!diamxhilo      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
           TXTDIAMETRO.Text = res1!diametro      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada
           TXTNUMHILOS.Text = res1!numhilos      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada
           TXTPERDIDAS.Text = res1!perdidas      ' coloca la perdidas de la
tensión seleccionada'
           TXTRESISADI.Text = res1!resADICIONAL      ' coloca la resistencia
de la tensión seleccionada'
           TXTRESISEFICAZ.Text = res1!RESEFICAZ
```

```
            TXTSECCION1.Text = res1!numseccion
          Exit Do
          End If

              ' sale del ciclo
         End If
         res1.MoveNext      ' mueve el puntero al siguiente registro
      Loop                        ' cierra el ciclo
 End If
End Sub

Private Sub cbosec_Click()
 MsgBox "A continuación Ingrese el valor correspondiente a la sección en AWG
Ejemplo : 2 AWG ,2/0 AWG, ETC", 64
If cbosec.ListIndex = 0 Then
   txtdisposicion.Visible = False
   CBODISPOSICION.Visible = True

  Else
   txtdisposicion.Visible = True
   CBODISPOSICION.Visible = False

End If
TXTSECCION = ""
TXTSECCION.SetFocus
'BUSQUEDA DE LOS VALORES PREDETERMINADOS EN RESIPERDY
TXTDIAMHILO.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada
TXTDIAMETRO.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada'
TXTNUMHILOS.Text = ""       ' coloca la temperatura de la tensión seleccionada
TXTPERDIDAS.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión seleccionada
TXTRESISADI.Text = ""      ' coloca la resistencia de la tensión seleccionada
TXTRESISEFICAZ.Text = ""
End Sub
```

```
Private Sub CBOTENSION_Click()
If CBOTENSION.ListIndex = 0 Then
   temp.Text = 50
  Else
  If CBOTENSION.ListIndex = 1 Then
     temp.Text = 45
    Else
     If CBOTENSION.ListIndex = 2 Then
        temp.Text = 40
       Else
          temp.Text = 35
      End If
   End If
 End If
 DBTIPO.Text = ""
 DBTIPO.Visible = True
 TXTTIPO.Visible = False
End Sub

Private Sub cbotipoconduc_Click()
TXTTENSION = ""
TXTTENSION.Visible = False
CBOTENSION.Visible = True
TXTTIPO.Text = ""
TXTTIPO.Visible = False
Data1.Refresh
DBTIPO.Refresh

End Sub

Private Sub cmdgrabar_Click()
```

```
If Len(Trim(CBOTENSION.Text)) = 0 Or Len(Trim(DBTIPO.Text)) = 0 Or
Len(Trim(TXTSECCION.Text)) = 0 Or Len(Trim(CBODISPOSICION.Text)) = 0 Or
Len(Trim(TXTRESISADI.Text)) = 0 Or Len(Trim(TXTRESISEFICAZ.Text)) = 0 Or
Len(Trim(TXTPERDIDAS.Text)) = 0 Or Len(Trim(TXTDIAMETRO.Text)) = 0 Or
Len(Trim(TXTDIAMHILO.Text)) = 0 Or Len(Trim(TXTNUMHILOS.Text)) = 0 Then
    MsgBox "Falta algún dato ..!", 48
    Exit Sub
End If

r = MsgBox("Desea Registrar la Información en la tabla ..?", 36)
If r = 7 Then
  Exit Sub
End If
res1.AddNew
res1!conduct = cbotipoconduc.ListIndex + 1
If CBOTENSION.Text = "0TRO" Then
    res1!tension = TXTTENSION.Text
 Else
    res1!tension = CBOTENSION.Text
End If

If DBTIPO.Text = "OTRO" Then
    res1!tipocable = TXTTIPO.Text
 Else
    res1!tipocable = DBTIPO.Text
End If
res1!AWG = Trim(TXTSECCION.Text) + " AWG"
res1!numseccion = Trim(TXTSECCION1.Text)
res1!AISLAMIENTO = CBOAISLAMIENTO
res1!disposicion = CBODISPOSICION.Text
res1!resADICIONAL = Val(TXTRESISADI.Text)
res1!RESEFICAZ = (TXTRESISEFICAZ.Text)
res1!perdidas = Val(TXTPERDIDAS.Text)
```

```
res1!diametro = Val(TXTDIAMETRO.Text)
res1!diamxhilo = Val(TXTDIAMHILO.Text)
res1!numhilos = Val(TXTNUMHILOS.Text)
res1!TIPOCONS = cbosec.ListIndex + 1

res1.Update
' actualiza la tabla elevatemp
ele.MoveFirst
sw = 0
Do While Not ele.EOF
  If CBOTENSION.Text = ele!tension And DBTIPO.Text = ele!tipo Then
        sw = 1
        Exit Do
   End If
   ele.MoveNext
 Loop
 If sw = 0 Then
    ele.AddNew
    ele!codtipo = 3
    ele!tipocable = "Todos los tipos"
    ele!tension = CBOTENSION.Text
    ele!elevtemsub = temp.Text
    ele!tipo = cbotipoconduc.ListIndex + 1
    ele.Update
 End If

 ' limpiar textos

TXTTENSION.Text = ""
DBTIPO.Text = ""
TXTTIPO.Text = ""
TXTSECCION.Text = ""
```

```
 TXTRESISADI.Text = ""
 TXTRESISEFICAZ.Text = ""
 TXTPERDIDAS.Text = ""
 TXTDIAMETRO.Text = ""
 TXTDIAMHILO.Text = ""
 TXTNUMHILOS.Text = ""
 temp = ""
  cbotipoconduc.SetFocus

MsgBox "Información Registrada ..", 64
End Sub

Private Sub cmdregresar_Click()
r = MsgBox("Abandona el Proceso ..?", 36)
If r = 6 Then
   res1.Close
   db.Close
   frmmenu.Show
   Unload frmmante
End If

End Sub

Private Sub cmdver_Click()
If cmdver.Caption = "&Ver Tabla" Then
  MARCO.Visible = True
  ref.Visible = True

  cmdver.Caption = "&Ocultar"
   Data2.Refresh
   DBGrid1.Refresh
 Else
   MARCO.Visible = False
```

```
   ref.Visible = False
  cmdver.Caption = "&Ver Tabla"
End If

End Sub

Private Sub DBTIPO_Click(Area As Integer)
If DBTIPO.Text = "OTRO" Then
    TXTTIPO.Visible = True
    DBTIPO.Visible = False
End If
End Sub

Private Sub Form_Load()
Set db = OpenDatabase("c:\tesis\cables.mdb")
Set res1 = db.OpenRecordset("resyperdi")
Set ele = db.OpenRecordset("elevatemp")
End Sub

End Sub

Private Sub TXTSECCION_LostFocus()

If res1.RecordCount = 0 Then ' determina el numero de registros
  MsgBox "Tabla Vacía ...!", 16
 Else                          ' caso contrario
    TXTDIAMHILO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
    TXTDIAMETRO.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
    TXTNUMHILOS.Text = ""      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada
    TXTPERDIDAS = ""
```

```
    TXTRESISEFICAZ.Text = ""      ' coloca la perdidas de la tensión
seleccionada'
    TXTRESISADI.Text = ""
   res1.MoveFirst        ' mueve el puntero al primer registro
   Do While Not res1.EOF   'inicio de lazo mientras no sea fin de archivo
     If cbosec.ListIndex = 0 Then
          TXTDIAMHILO.Text = res1!diamxhilo      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada
          TXTDIAMETRO.Text = res1!diametro      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
          TXTNUMHILOS.Text = res1!numhilos      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
          TXTPERDIDAS.Text = res1!perdidas      ' coloca la perdidas de la
tensión seleccionada'
          TXTRESISADI.Text = res1!resADICIONAL      ' coloca la resistencia
de la tensión seleccionada'
          TXTRESISEFICAZ.Text = res1!RESEFICAZ
          TXTSECCION1.Text = res1!numseccion
        Exit Do
        End If
    Else
      If res1!AISLAMIENTO = CBOAISLAMIENTO.Text And res1!tension =
CBOTENSION.Text And res1!AWG = Trim(TXTSECCION.Text) + " AWG" And
Val(res1!TIPOCONS) = 3 And res1!conduct = (cbotipoconduc.ListIndex + 1) Then
' compara la tensión con la seleccionada en el combo
          TXTDIAMHILO.Text = res1!diamxhilo      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
          TXTDIAMETRO.Text = res1!diametro      ' coloca la temperatura de la
tensión seleccionada'
TXTNUMHILOS.Text = res1!numhilos      ' coloca la temperatura de la tensión
seleccionada'
TXTPERDIDAS.Text = res1!perdidas      ' coloca la perdidas de la tensión
seleccionada'
```

```
TXTRESISADI.Text = res1!resADICIONAL      ' coloca la resistencia de la tensión
seleccionada'
  Exit Do
  TXTSECCION1.Text = res1!numseccion
   TXTRESISEFICAZ.Text = res1!RESEFICAZ
            Exit Do
          End If
              ' sale del ciclo
         End If
         res1.MoveNext      ' mueve el puntero al siuiente registro
      Loop                        ' cierra el ciclo'
 End If

End Sub
Private Sub TXTTENSION_KeyPress(KeyAscii As Integer)
If KeyAscii = 13 Then
  TXTTIPO = ""
  TXTTIPO.Visible = False
  DBTIPO.Visible = True
End If
End Sub

Private Sub TXTTIPO_LostFocus()
TXTTIPO.Text = UCase(TXTTIPO.Text)
End Sub
```

AYUDAS:

```
Private Sub MENU_Click()
frmmenu.Show
Unload frmayuda
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
If contenido.Left > 12000 Then
   contenido.Left = -1920
End If
contenido.Left = contenido.Left + 100

End Sub
```

ACERCA DE:

```
Private Sub Form_Load()
AYUDA..Navi PATH+"menu.HTM"
End Sub

Private Sub MENU_Click()
frmmenu.Show
Unload frmayuda
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
If contenido.Left > 12000 Then
   contenido.Left = -1920
End If
contenido.Left = contenido.Left + 100

End Sub
```

5.2.- COMPARACION PORCENTUAL DE VALORES

Partiendo de los datos originales con el objeto de validar los resultados del programa computacional , a continuación se hace una comparación entre los valores dados en tablas y el programa computacional.

TABLA DE ERRORES

TENSIÓN	TIPO DE CABLE	SECCÓN	CAPACIDAD DE CARGA PROGRAMA	CAPACIDAD DE CARGA EN LAS TABLAS	% DE ERROR
kV	MONOPOLAR	mm	(A)	(A)	
11,6/20	NKLEY	50	185	185	0
11,6/20	NKLEY	70	225	230	2,17
11,6/20	NKLEY	95	266	270	1,48
11,6/20	NKY	50	187	185	1,08
11,6/20	NKY	70	225	230	2,17
	TRIPOLAR				
3,5/6	NKBA	35	167	165	1,21
3,5/6	NKBA	50	204	195	4,62
3,5/6	NKBA	70	242	245	1,22
3,5/6	NYFGbY	35	149	150	0,67
3,5/6	NYFGbY	50	169	165	2,42
3,5/6	NYFGbY	70	214	220	2,73
3,5/6	NYFGbY	95	260	260	0
3,5/6	NYFGbY	120	296	295	0,34

Como se puede observar en la tabla las diferencias porcentuales son muy pequeñas, se encuentran en un promedio del 1.41 %, lo cual demuestra que el programa digital para el cálculo de la capacidad de carga es confiable, y puede ser utilizado por las empresas distribuidoras en el área de redes subterráneas, y personas interesadas en el tema.

5.3.- MANUAL DEL USUARIO

PROGRAMA DIGITAL PARA CABLES SUBTERRANEOS

El presente sistema "Programa Digital Ver. 1.0", constituye una herramienta muy importante dentro del proceso de distribución de redes subterráneas, pudiendo ser utilizado por empresas o personas relacionadas con el medio.

El sistema tiene como función principal el cálculo de la capacidad de carga de cables subterráneos en diferentes formas de instalación, basado en las normas VDE, UNE, IPCEA – NEMA Standards Publication.

INSTALACION

Para la instalación del sistema siga los siguientes pasos.

- Copie el programa PRODIGITAL.EXE que se encuentra en la unidad entregada a la unidad C:
- Cree un acceso directo de este programa al escritorio para una ejecución más rápida.

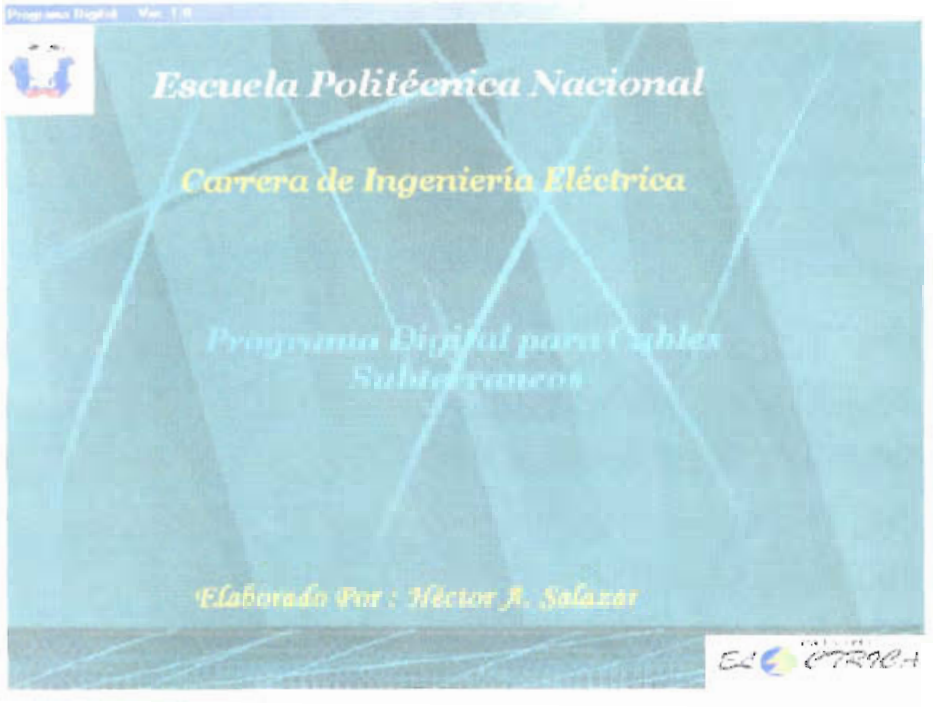
ESTRUCTURA

El Sistema consta de una serie de pantallas y mensajes que guiarán al usuario en el manejo del mismo.

EJECUCION

Para ejecutar el sistema, realice un doble-click, en el ICONO denominado PRODIGITAL ubicado en el escritorio.

Al Iniciar el Sistema, le presentará la siguiente pantalla de INICIO.



Posteriormente, le presentará una pantalla con el Menú Principal del sistema.

El menú principal consta de las siguientes Opciones Principales:

- Cálculos
- Mantenimiento
- Ayuda
- Salir

DESCRIPCION DE OPCIONES

Opción CALCULOS. - Consta de las siguientes sub-opciones

- Capacidad/Carga
  - Monopolar
    - Disposición en Haz
    - Disposición en el Plano
  - Tripolar

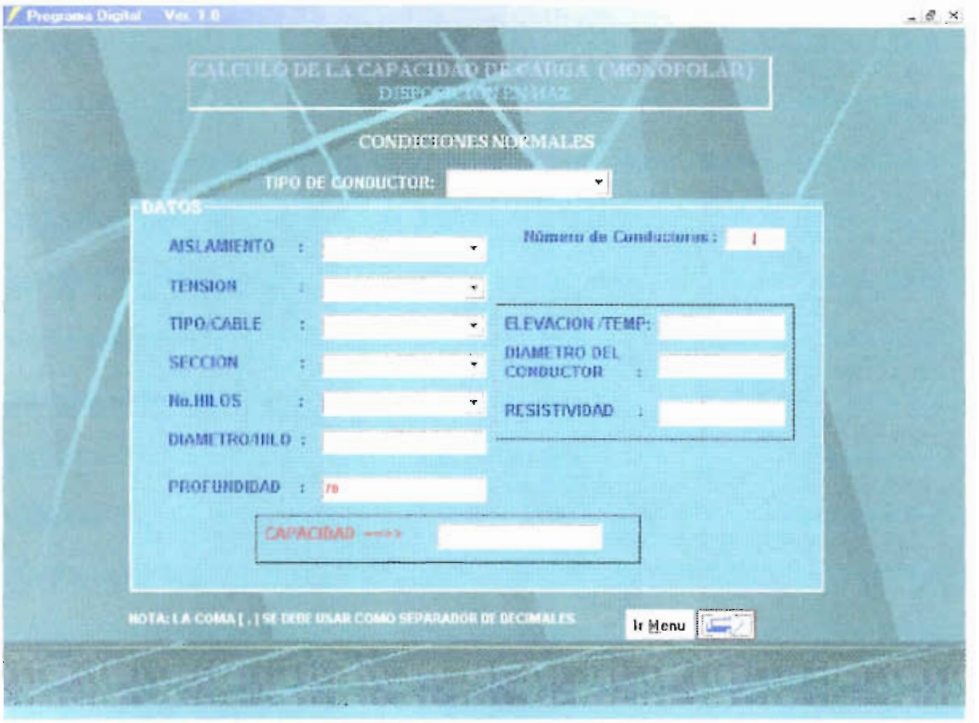
Como se muestra a continuación.

En las pantallas de cálculo de la capacidad de carga en monopolar o tripolar, encontrará que los valores que corresponden a la sección del cable están acompañados de unas siglas que corresponden a :

rm conductor redondo multifilar.
re conductor redondo monofilar.
se conductor sectorial monofilar.
sm conductor sectorial multifilar.

Opción MONOPOLAR: (Disposición en Haz)

Al seleccionar esta sub-opción le presentará la siguiente pantalla, en la que se realiza el cálculo de la CAPACIDAD DE CARGA en condiciones normales.



DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA

Al presentar esta pantalla, automáticamente aparece el número del conductor del cable que se va ha analizar (1 Monopolar ó 3 Tripolar).

La profundidad que aparece es por defecto (70), ya que para los procesos de este sistema se ha considerado un rango de 70 a 120 cm, valores considerados como normales para tendidos de cables de baja y media tensión.

Seleccione el tipo de material del conductor con el que desea trabajar.

Seguidamente seleccione el tipo de aislamiento (Plastico ó Papel ; siendo Plastico conductores con aislamiento de plástico, PAPEL conductores con aislamiento de papel). Este proceso clasifica los cables con los que va ha trabajar.

Posteriormente seleccione la tensión. Los valores que se presentan reflejan un rango.

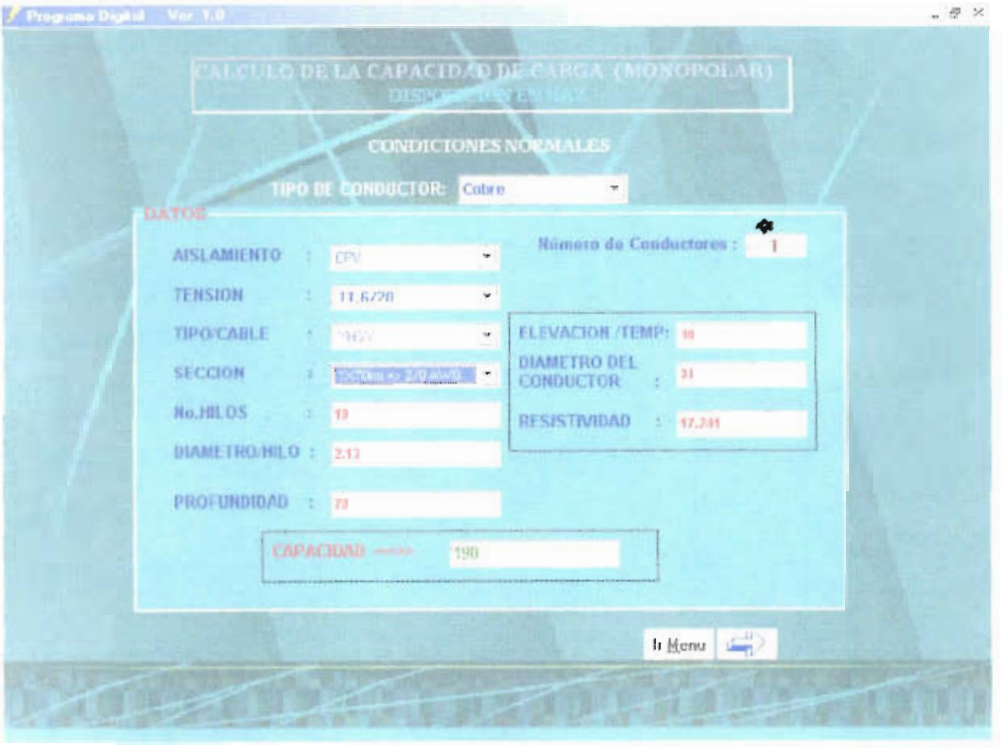
Por ejemplo: 11,6/20 , representan valores de voltaje entre 11,6 y 20 kV.

Seleccione el tipo de cable

La siguiente pantalla indica la sección del cable con el cual va a trabajar .

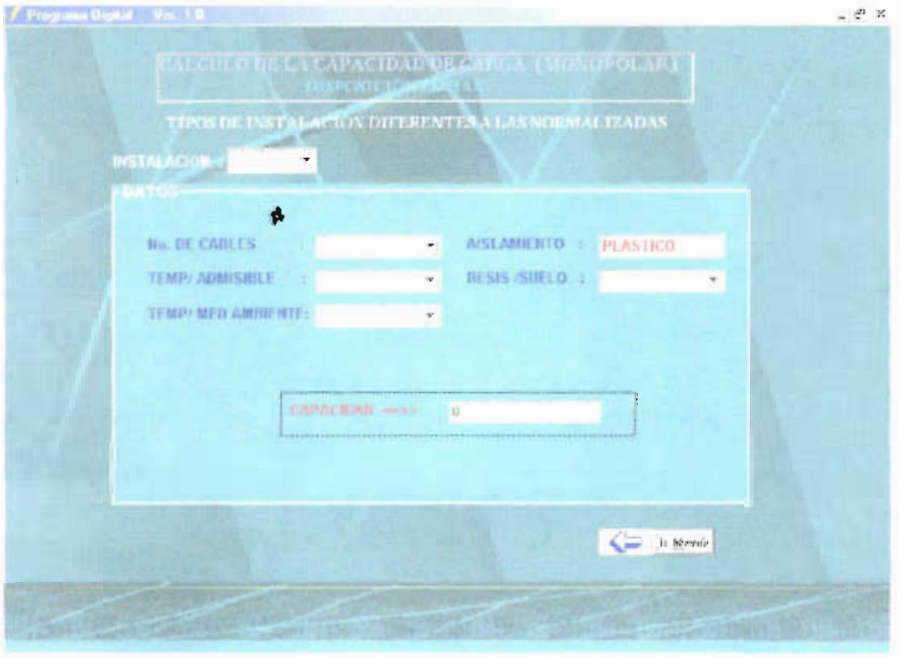
Seguidamente se procese a seleccionar el número de hilos de los cables que están en función de la sección seleccionada, como se observa en la pantalla.

Una vez seleccionados estos parámetros automáticamente el sistema realiza los cálculos necesarios para determinar la capacidad de carga del conductor.



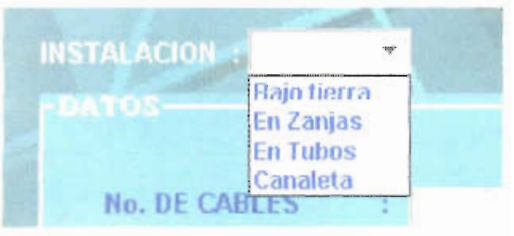
El botón [Ir Menú] , termina el proceso retornando al menú principal.

El botón [—▶], nos permite avanzar a la siguiente pantalla para realizar cálculos en diferentes formas de instalación basados en los resultados obtenidos en esta pantalla.



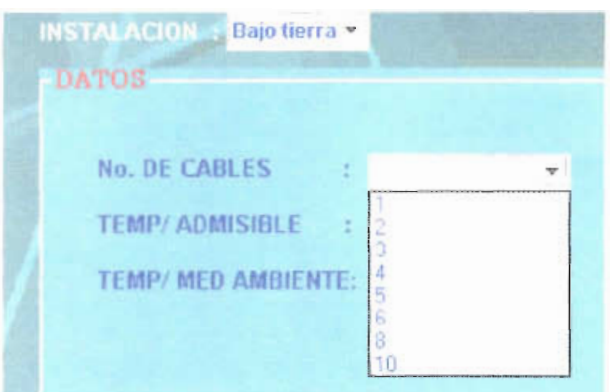
En esta pantalla se realiza los cálculos de diferentes tipos de instalación a las normalizadas, presentando automáticamente el tipo de aislamiento.

Como primer dato le solicitará el tipo de instalación.

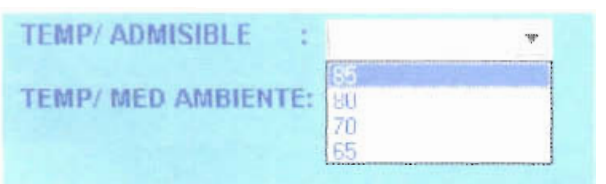


Cada una de estas opciones, requieren datos diferentes como se explicará a continuación.

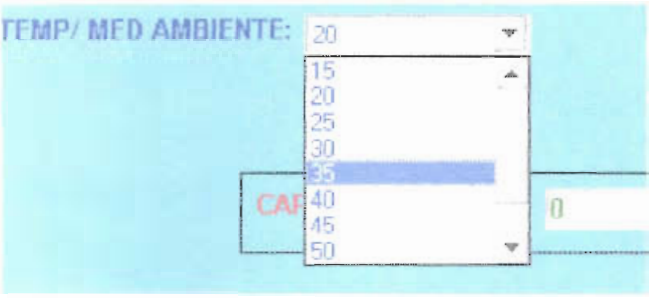
Instalación bajo tierra. Posterior a esta selección proceda a indicar el número de cables instalados.



Luego seleccione la temperatura admisible del conductor.



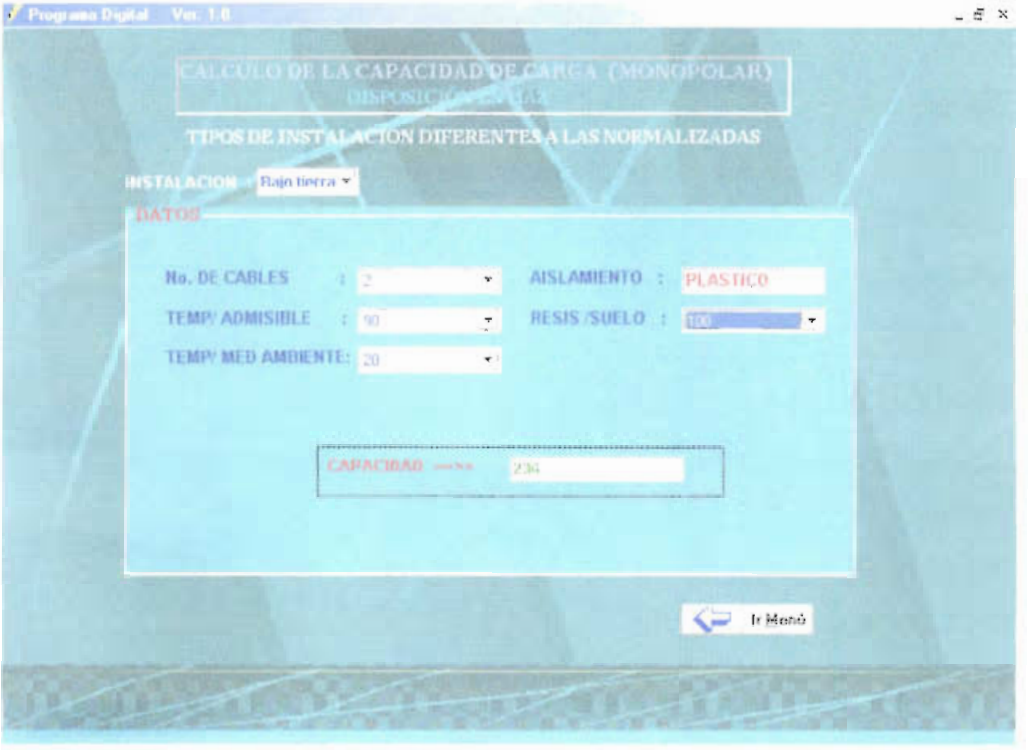
La temperatura del medio ambiente es el siguiente dato solicitado



Los valores presentados indican un rango de 15 a 60 ^{0}C.

Posteriormente el usuario tiene la opción de seleccionar la resistencia del suelo el mismo que depende del grado de humedad del terreno en el que van a ser instalados los cables.

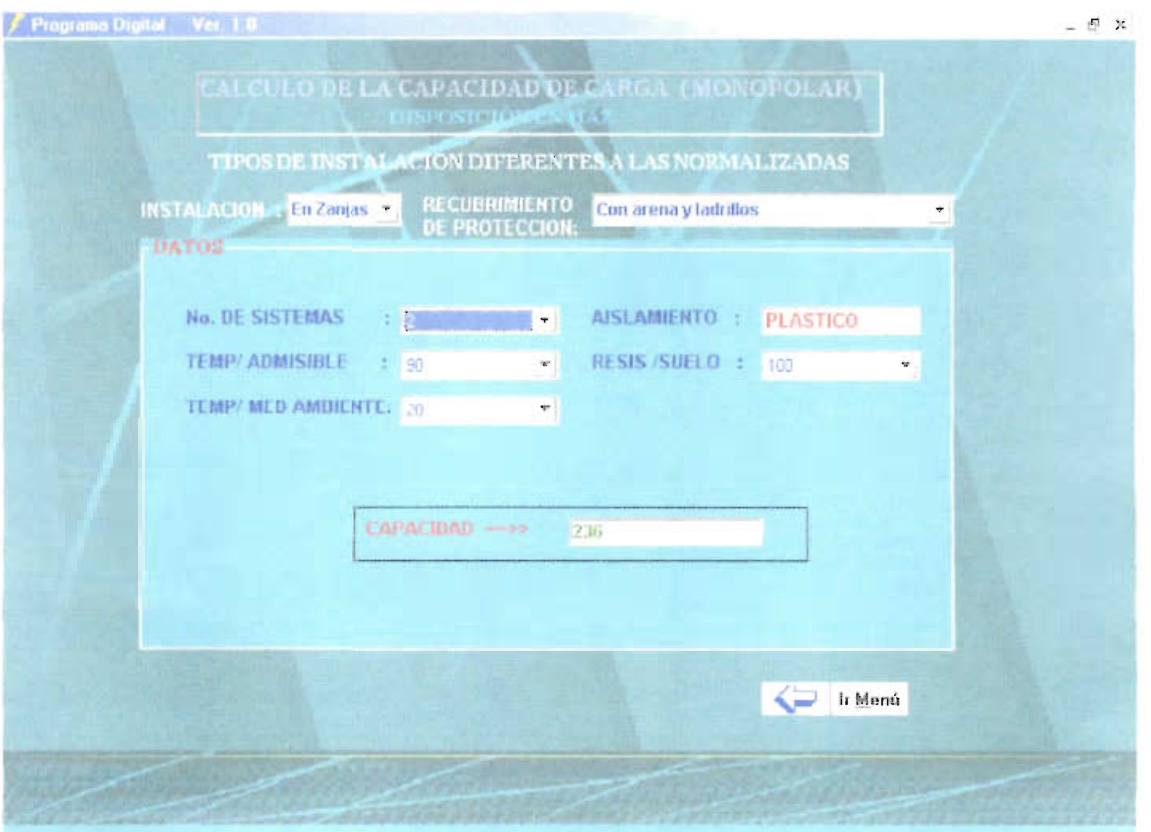
Una ves ingresados los datos se realiza el cálculo de la capacidad de carga a las condiciones seleccionadas. Como se visualiza en la pantalla:



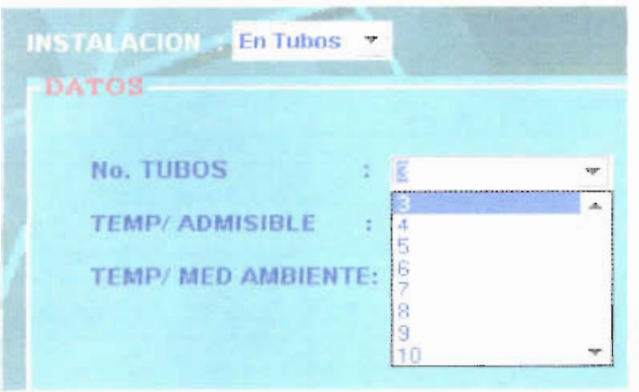
Instalación en zanjas. Con esta opción le solicitará que ingrese el tipo de recubrimiento.

Posteriormente seleccione el número de sistemas instalados en las zanjas (estos sistemas son cables instalados en triángulo, con una separación de 25 cm entre los sistemas). Los valores de selección se indican en la pantalla:

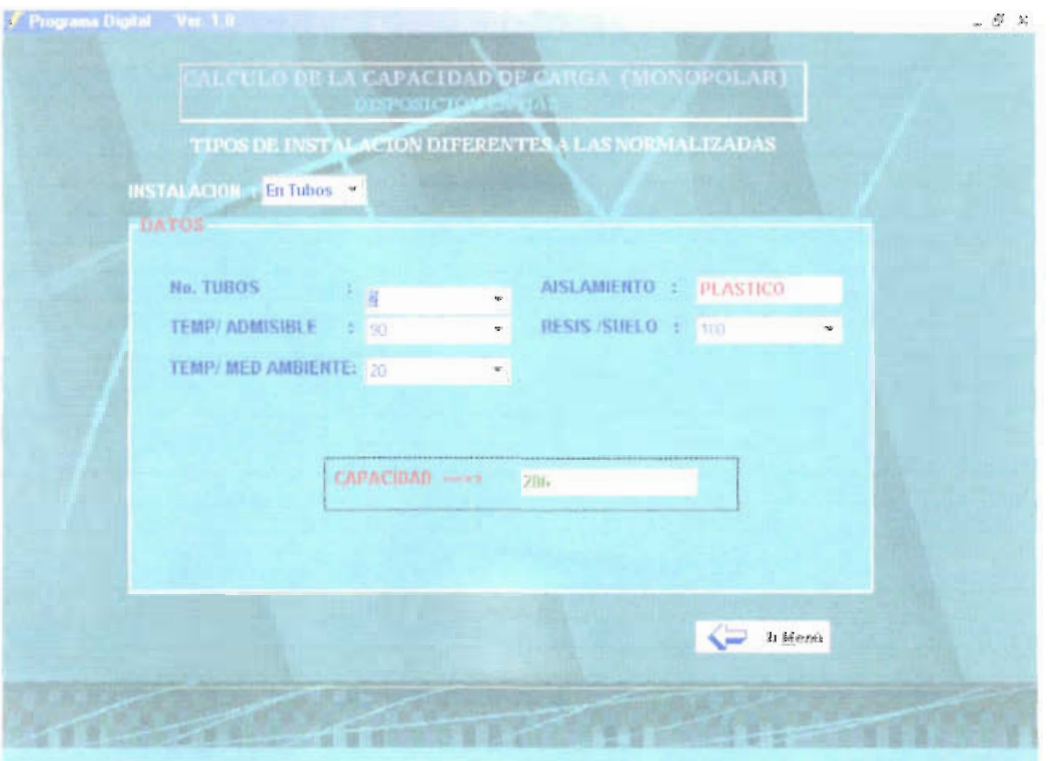
La restante información solicitada es la misma que se explico en la instalación bajo tierra.



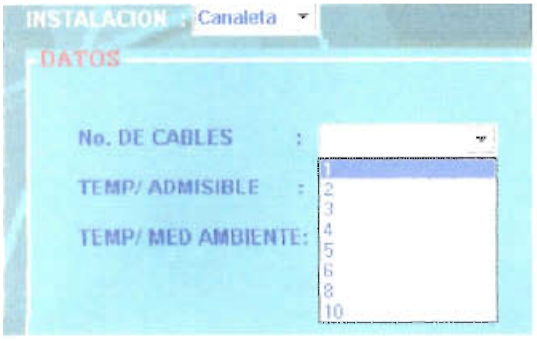
Instalación en Tubos, automáticamente desaparece el recubrimiento de protección y aparece la opción de número de tubos en la cual podemos escoger el número de tubos por el cual va un cable de energía por tubo.

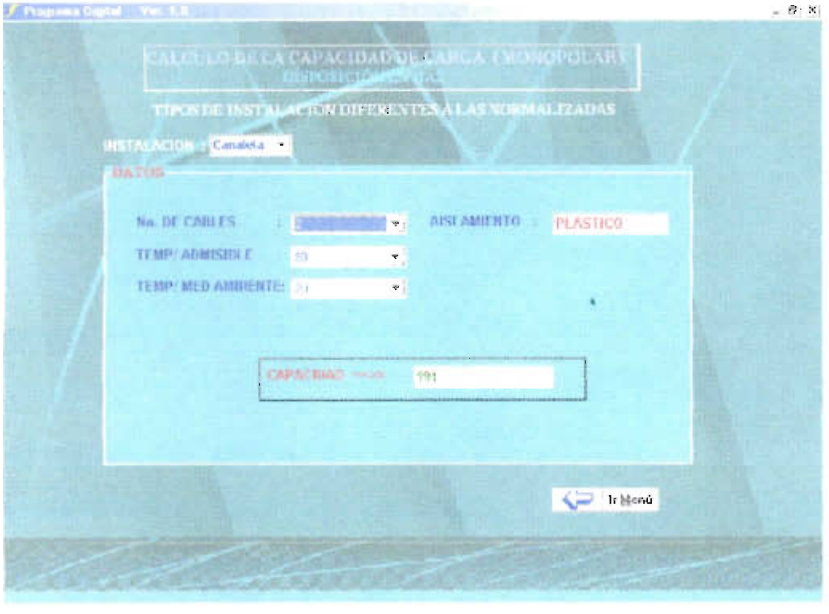


Los demás valores de selección son idénticos a las anteriores pantallas para la obtención del cálculo de la capacidad de carga en esas condiciones.



Instalación Canaletas, automáticamente desaparece el recubrimiento de protección y RESIS/SUELO , aparece la opción de número de cables.



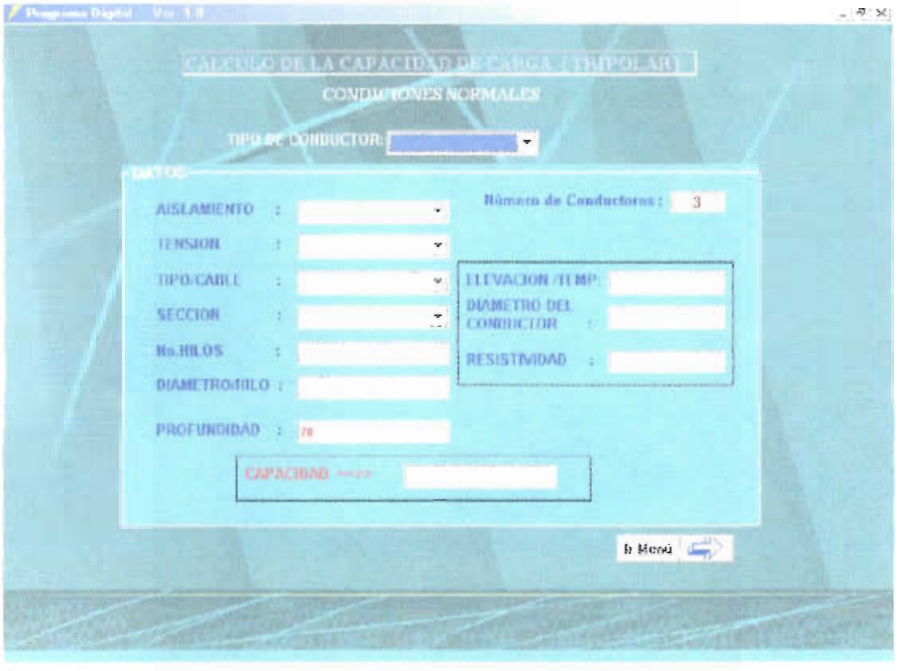


Opción MONOPOLAR: (Disposición sobre un plano)

El proceso del cálculo de la capacidad de carga en disposición sobre el plano mantiene el mismo proceso explicado en el cálculo de Disposición en haz.

Opción Tripolar.

Al seleccionar esta opción le presentará la siguiente pantalla



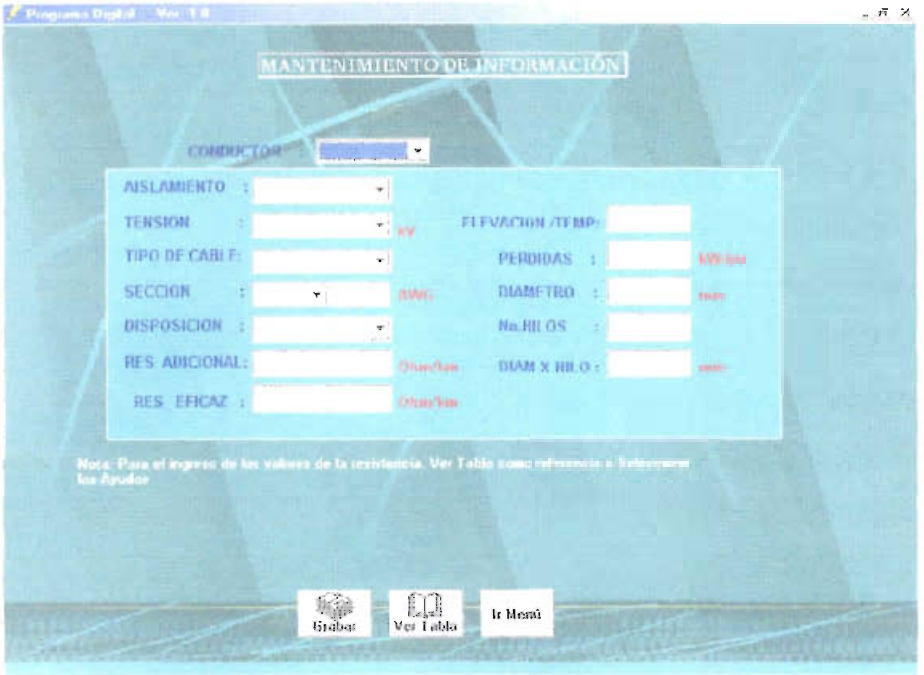
La información solicitada en la pantalla cumple con las mismas características explicadas en el proceso de cálculo de la Capacidad de carga para cables Monopolares, tanto para condiciones normales como para condiciones en diferentes formas de instalación.

Opción: MANTENIMIENTO

Esta opción se ha diseñado con la finalidad de que el usuario pueda ingresar datos de cables que no estén disponibles en el sistema.

Estos datos vienen especificados en tablas o por los fabricantes. En lo que se refiere a las resistencias o a las pérdidas pueden ser comparadas con los valores dados como ejemplos en el proyecto con otros cables de las mismas características técnicas.

Estos datos se indican en la siguiente pantalla:

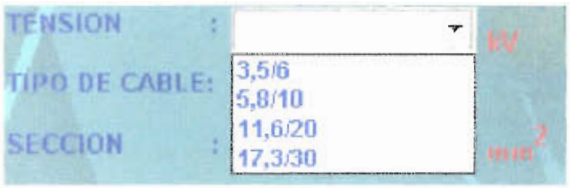


DESCRIPCION DE LA PANTALLA

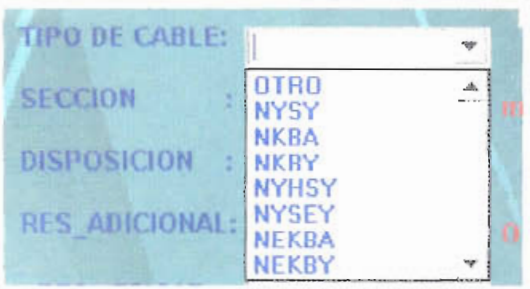
La opción conductor nos da la alternativa de seleccionar el tipo de material ya sea de cobre o aluminio como se indica.

Posteriormente debe seleccionar el tipo de aislamiento.

Como siguiente paso tenemos la selección de diferentes tensiones las mismas que son las más utilizadas en el sistema de distribución de baja y media tensión.

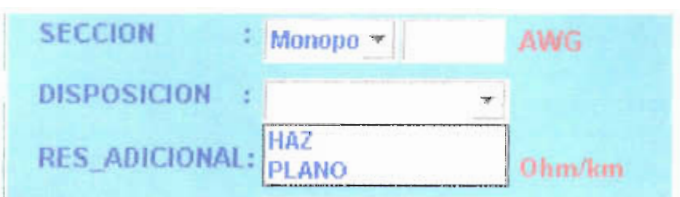


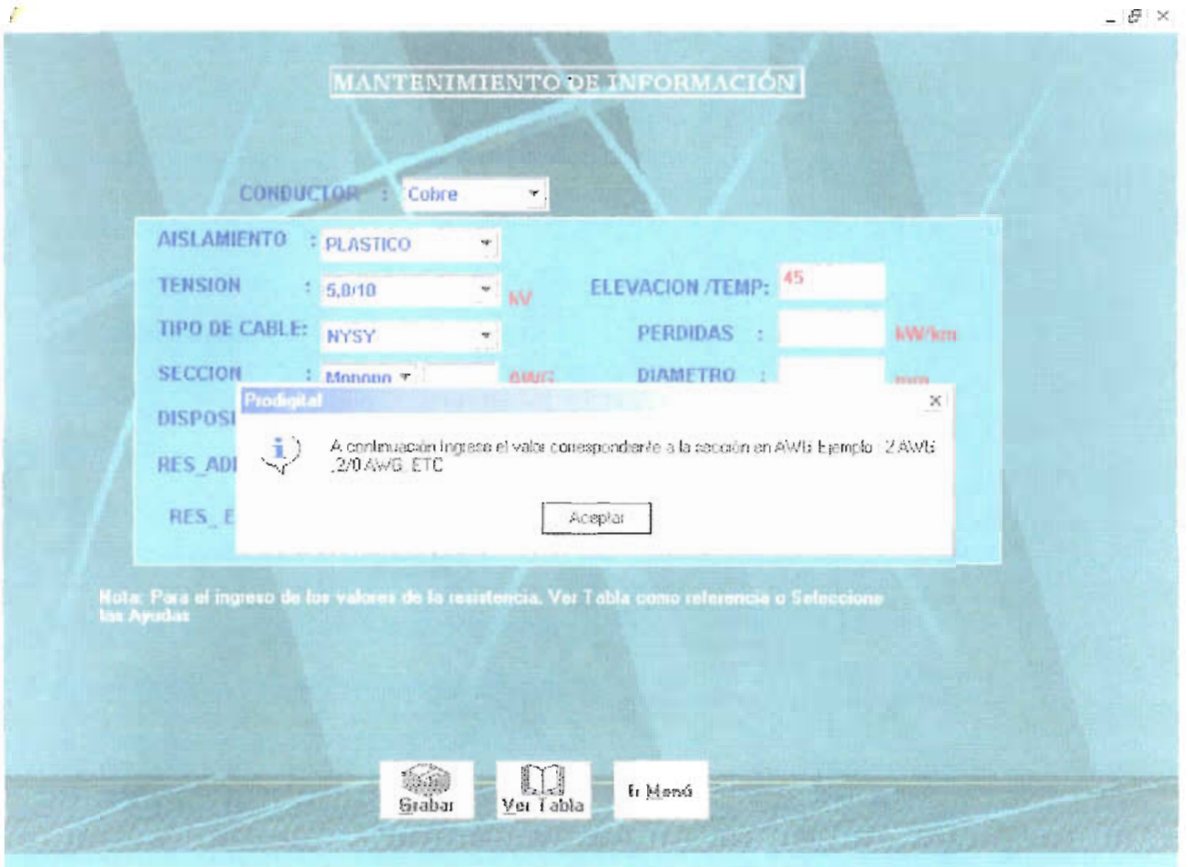
Seleccione de la lista el tipo de cable que necesite para su trabajo. En el caso de no disponer en l lista seleccione la opción OTRO, para ingresar el valor correspondiente.



Posteriormente seleccione la sección, si es monopolar o tripolar , por cualquiera de las dos opciones aparecerá un mensaje indicando la forma de ingresar el valor Este valor se debe ingresar en AWG.

Si seleccionó la sección Monopolar le solicitará el tipo de disposición (En Haz o Sobre el Plano), si seleccionó Tripolar, en la opción disposición aparecerá la palabra Ninguna como se puede observar:

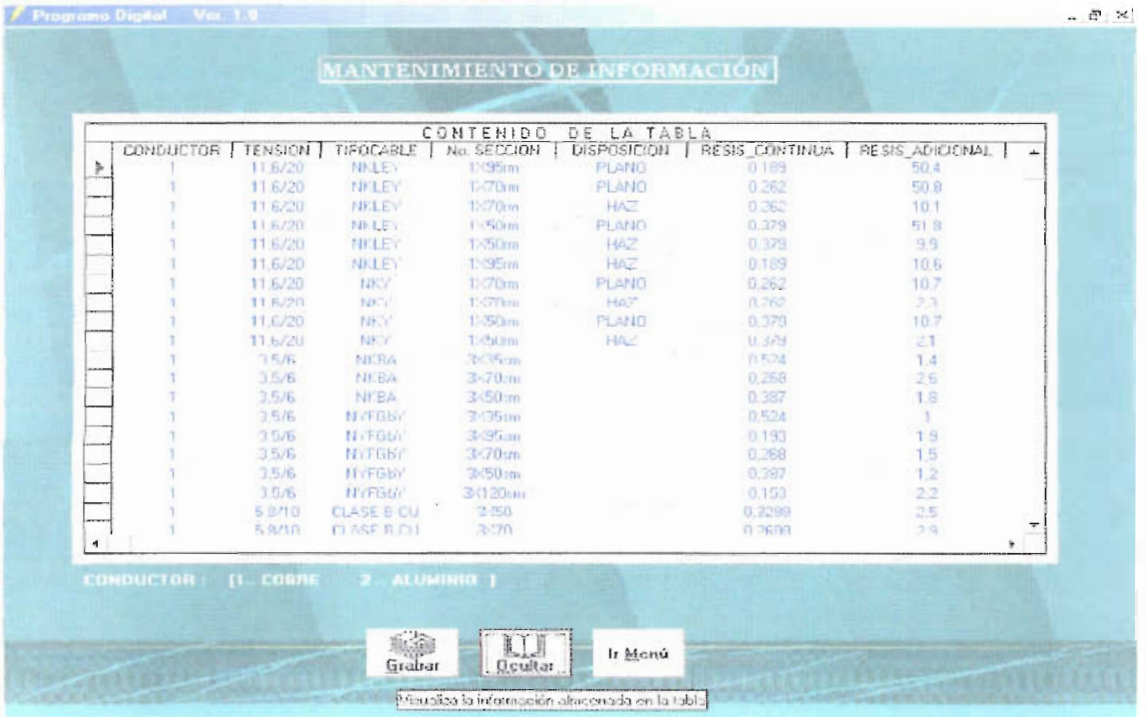




Como siguiente paso el usuario debe ingresar la información que se indican en la pantalla cuyos datos vienen especificados por los fabricantes.
Para mayor información donde encontrar estos datos *Consulte la opción Ayuda*.

Una ves ingresados todos estos valores se debe dar un " CLICK " en grabar para guardar la información y que el programa pueda reconocerla.

El botón "Ver Tabla", le permitirá visualizar una ventana con la información de los cables que actualmente está manejando el sistema.



Si desea ocultar esta ventana, pulse un "CLICK", en el botón Ocultar.

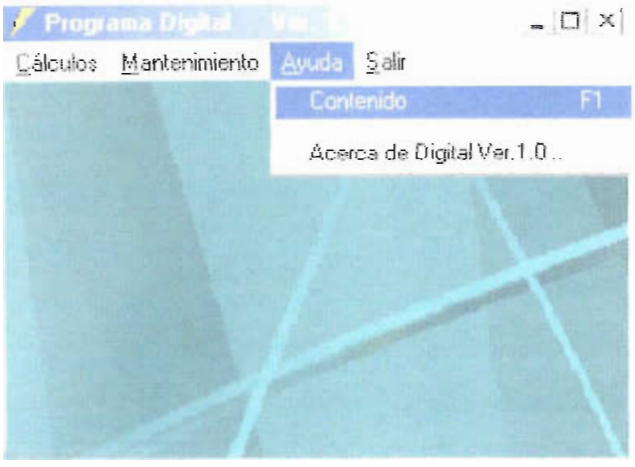
Al dar un " CLICK " en el botón "Ir Menú " retornaremos a la pantalla principal.

Opción : AYUDA

Esta opción tiene dos sub-opciones:

- Contenido F1
- Acerca de Prodigital Ver1.0

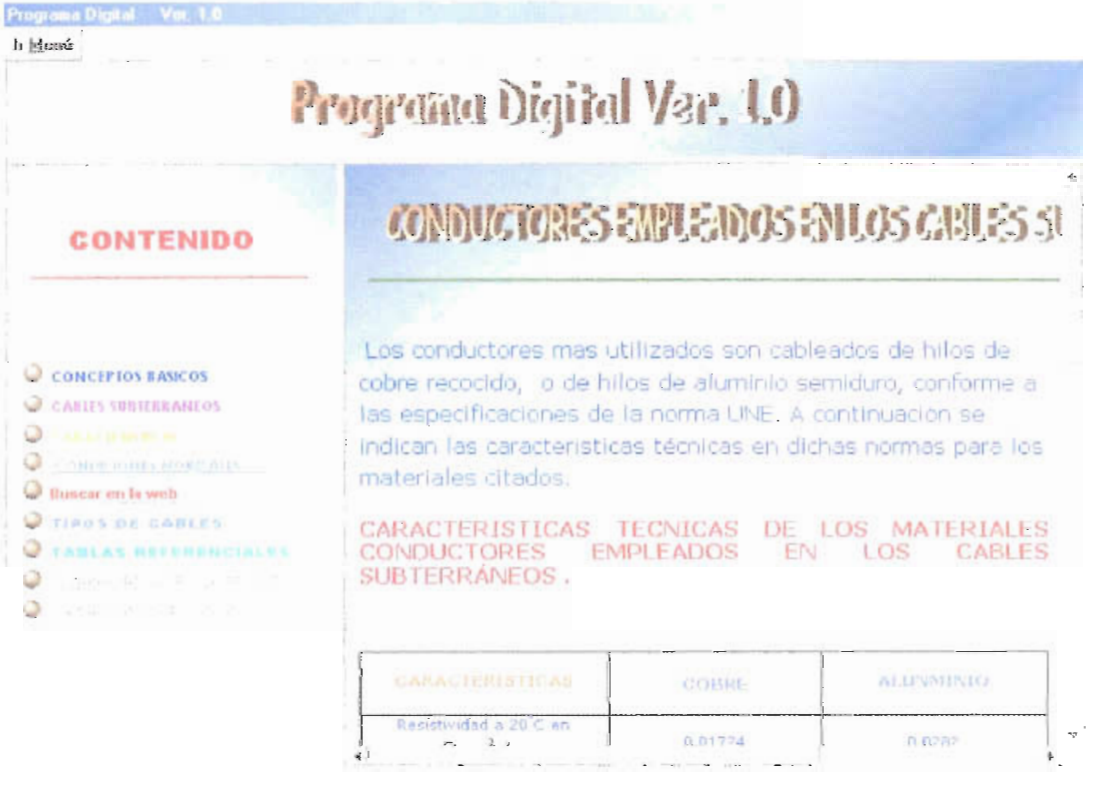
Como se indica en la pantalla:



Sub-opción **CONTENIDO** :

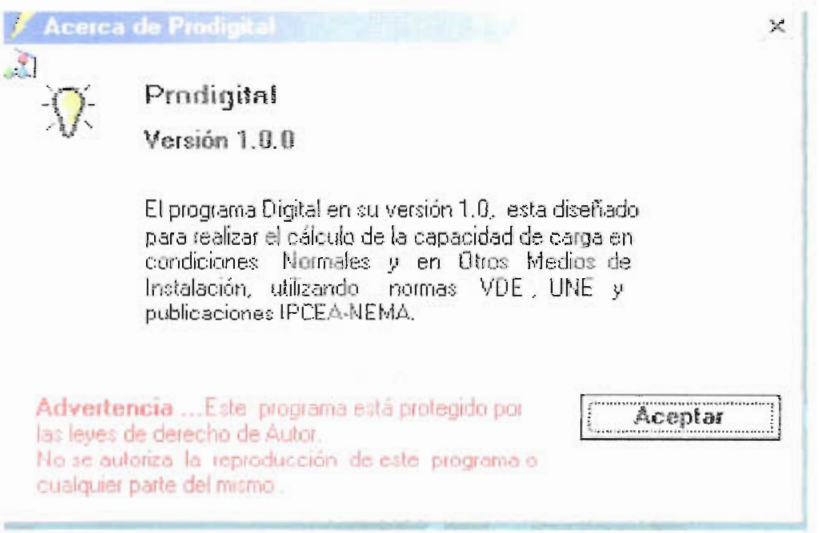
Esta opción también se habilita al pulsar la tecla F1.

La pantalla que nos presenta contiene un menú de opciones que le permitirán al usuario guiarse en conceptos técnicos y útiles para el manejo del presente sistema.



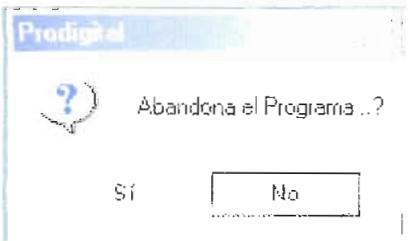
Sub opción Acerca de Digital VER 1.0.

En esta opción el usuario tiene una información referencial sobre el programa y los derechos del autor. Como se indica en la pantalla:



Opción SALIR.

Esta es la última opción del menú principal y le permite abandonar el proceso previo un mensaje de confirmación.



Si selecciona No, el usuario puede seguir trabajando con el sistema, en el caso de seleccionar SI, retornará el control al escritorio de Windows.

CAPITULO VI

ANALISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS

ANALISIS TECNICO

El objetivo de esta parte del proyecto de titulación es comparar el conductor de cobre con el conductor de aluminio y seleccionar técnicamente el conductor adecuado para el tipo de instalación requerida.

A continuación se presenta un ejemplo utilizando los datos del programa digital y los datos de tablas para dicho análisis:

1.- Ejemplo:

Datos: 3 cables con aislamiento Protodur, tipo NYFGbY 3X120 sm 3,5/6, tendidos bajo tierra uno a lado de otro, con una separación de 7 cm, con cubierta de ladrillos, carga de compañías distribuidoras:

Resistividad térmica del suelo : 150 grd.cm/W

Temperatura del medio ambiente: 30^0C

Temperatura admisible del conductor 70^0C.

Capacidad de carga en condiciones normales es :

En tablas : 295 (A)

Utilizando el programa partiendo de datos originales : 296 (A)

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa digital objeto del proyecto de titulación.

$$\frac{(296-295)}{295}\times 100 = 0.339\%$$

El valor de la capacidad de carga bajo estas condiciones es :

I = 3*295*0.89*0,85*0,75 = 502,127 A.

El valor de la capacidad de carga mediante el programa computacional es :

I = 504 A.

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa digital .

$$\frac{(504-502.127)}{502.127}\times 100 = 0.373\%.$$

Como se puede observar en el ejemplo los resultados obtenidos mediante las tablas y por el programa digital de la capacidad de carga en condiciones normales, tienen una pequeña variación que es de 0.339 %, el mismo que se encuentra dentro de los parámetros permitidos por las normas , por lo cual los valores obtenidos por el programa son plenamente confiables para el cálculo de la capacidad de carga de cables.

Esta variación de resultados se debe a los siguientes factores:

- Para la obtención del resultado de la capacidad de carga a través del programa digital se tomó la información considerando todas las cifras decimales para el cálculo durante todo el proceso matemático y sólo en el resultado total se han redondeado las cifras, mientras que para el cálculo de la capacidad de carga utilizando las tablas se han considerado cifras redondeadas.

- Para el cálculo de la capacidad de carga se han considerado varios factores de los cables como son la resistencia a 20^0C, resistencia eficaz, elevación de la temperatura, resistividad del suelo, etc., por lo que el resultado será más exacto cuanto mayor precisos sean estos valores.

ANALISIS DEL CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN DIFERENTES FORMAS DE INSTALACIÓN:

Siguiendo con el ejemplo y bajo esas condiciones de instalación, el resultado de la capacidad de carga obtenida mediante el programa digital no varia en un gran porcentaje con el valor obtenido a través de las tablas, cuya diferencia porcentual es del 0.339%.

Por lo cual podemos tomar los resultados obtenidos mediante el sistema como confiables para las diferentes formas de instalación en redes subterráneas

Utilizando las mismas condiciones anteriores para el cobre, analizaremos para un cable de aluminio:

Capacidad de carga en condiciones normales:

En tablas: 230 (A)

Utilizando el programa partiendo de datos originales : 233 (A)

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa digital .

$$\frac{(233-230)}{230}\times 100 = 1.3\%$$

Capacidad de carga en esas condiciones de instalación es:

En tablas: I = 3*230*0.89*0.85*0.75 = 396.595 (A).

Mediante el programa: 397 (A)

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa digital .

$$\frac{(397-396.595)}{396.595}\times 100 = 0.102\%$$

Analizando los valores de la capacidad de carga en condiciones normales en cobre con la del aluminio se puede observar que la capacidad de carga del cable en cobre es mayor que la del aluminio tanto en condiciones normales como en diferentes formas de instalación, considerando la misma sección de los conductores. Ya que el conductor de aluminio para que transmita la misma capacidad de carga tiene que ser su sección el doble que la del cobre.

Por los resultados obtenidos de la capacidad de carga el cable de cobre es mejor que el del aluminio. Considerando otros aspectos técnicos de los cables tenemos el siguiente análisis.

Considerando las características eléctricas según las normas internacionales, para el empleo del cobre se fija en un 100% la conductibilidad de un conductor, que con la longitud de 1m y la sección geométrica de 1 mm^2, a una temperatura de 20^0C, presenta una resistividad de $0.017241\,\Omega mm^2/m$, de forma similar tenemos que la conductibilidad del aluminio esta en un 60% de la conductibilidad total del cobre y presenta una resistividad de 0.02845 $\Omega mm^2/m$.

Por lo que de acuerdo a estas condiciones vemos que el conductor de cobre es mejor que el conductor de aluminio .

Considerando la misma resistencia eléctrica, la relación entre las secciones de los cables de cobre y aluminio, la sección del aluminio es 1.64 veces la sección del cobre, de igual manera tenemos la relación entre los pesos de los conductores de cobre y aluminio, tenemos que el peso del aluminio es 0.5 veces el peso del cobre, pero se debe tener en cuenta que el volumen del aluminio es mayor que el del cobre.

Con esta características vemos que el aluminio debido a su peso es recomendado de mejor manera para instalaciones aéreas.

ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se hace en función al costo de los cables mediante información proporcionada por los fabricantes y distribuidores de cables como es

Canala, Intelcom, Cablec. Tenemos que el costo del conductor de cobre tripolar de una sección de $35mm^2$ tiene un costo de 6.5 dólares el metro en cambio el conductor de aluminio tiene un coso de 3.0 dólares el metro, como se puede ver el precio del conductor de aluminio es aproximadamente la mitad que la del cobre ,por lo que el aluminio resulta ser un material competitivo en el mercado, si se considera el precio del conductor del aluminio de una sección de 2 números más tenemos que cuesta 5.9 dólares el metro.

Económicamente tenemos que el conductor de aluminio es mejor que el conductor de cobre, pero técnicamente el conductor de cobre resulta ser mejor conductor para la transmisión de energía eléctrica por lo que se recomienda usar el conductor de cobre para ese tipo de instalaciones subterráneas ya que no solo debemos considerar en este caso el costo económico del conductor sino la instalación total del proyecto, ya que esta tiene un costo elevado en relación a una instalación aérea por lo que hay que garantizar dicho proyecto para en el futuro no tener problemas de la transmisión de energía .

2.- Ejemplo.

Considerando un segundo ejemplo en lo que respecta a cables monopolares tenemos:

Datos : Supongamos un cable subterráneo monopolar con aislamiento de papel impregnado de cobre tipo NKLEY 1x50rm 11,6/20 kV, instalados 2 sistemas en zanjas en disposición en haz en triángulo con una separación entre los sistemas de 25 cm, recubrimiento con una cúpula, estando el espacio hueco lleno de arena.

Resistividad térmica del suelo : 150 grd.cm/W

Temperatura del medio ambiente : 30^0C

Temperatura admisible del conductor : 70^0C

Capacidad de carga en condiciones normales es :

En tablas : 185 (A)

Utilizando el programa partiendo de datos originales : 185 (A)

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa digital .

$$\frac{(185-185)}{185}\times 100 = 0.0\%$$

El valor de la capacidad de carga bajo estas condiciones es :

I = 1*2*185*0.89*0.86*0.85*0.84 = 202.203 A.

El valor de la capacidad de carga mediante el programa digital es :

I = 202 A.

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa digital .

$$\frac{(202-202.203)}{202.203}\times 100 = 0.1\%$$

Los resultados obtenidos, para encontrar la capacidad de carga en condiciones normales mediante las tablas y por el programa digital, son iguales .

ANALISIS DEL CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN DIFERENTES FORMAS DE INSTALACIÓN:

La capacidad de carga obtenida mediante el programa digital difiere 0.1% respecto al valor indicado en las tablas.

Bajo las mismas condiciones indicadas en el conductor de cobre anteriormente, realizaremos el análisis para un conductor de aluminio:

Datos : Supongamos un cable subterráneo monopolar con aislamiento de papel impregnado de cobre tipo NAKLEY 1x50rm 11,6/20 kV, instalados 2 sistemas en

zanjas en disposición en haz en triángulo con una separación entre los sistemas de 25 cm, recubrimiento con una cúpula, estando el espacio hueco lleno de arena.

Resistividad térmica del suelo : 150 grd.cm/W

Temperatura del medio ambiente : $30^0 C$

Temperatura admisible del conductor : $70^0 C$

Capacidad de carga en condiciones normales:

En tablas: 140 (A)

Utilizando el programa : 143 (A)

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa computacional .

$$\frac{(143-140)}{140}\times 100 = 2.143\%$$

Capacidad de carga en esas condiciones de instalación es:

En tablas: I = 1*2*140*0.89*0.86*0.85*0.84 = 153.019 A.

Mediante el programa: 156 (A)

Diferencia porcentual de la capacidad de carga entre el valor de las tablas y el obtenido por el programa computacional .

$$\frac{(156-153.019)}{153.019}\times 100 = 1.948\%$$

Analizando los valores de la capacidad de carga en condiciones normales en cobre con la del aluminio se puede observar que la capacidad de carga del cable en cobre es mayor que la del aluminio tanto en condiciones normales como en diferentes formas de instalación.

Por los resultados obtenidos de la capacidad de carga el cable de cobre es mejor que el del aluminio. De igual manera analizando las otras características de los cables ya indicadas en el ejemplo anterior concluiremos que el conductor de cobre tiene mayor ventajas que el del aluminio para la transmisión de energía eléctrica. Para lograr que el conductor de aluminio transmita la misma capacidad de carga que la del cobre tenemos que colocar un conductor de aluminio de sección superior a dos números más.

ANÁLISIS ECONÓMICO

De acuerdo con los precios de cables proporcionados por los distribuidores, el conductor de cobre de sección $50mm^2$, tiene un costo de 10.0 dólares el metro y el precio del conductor de aluminio es de 5.8 dólares el metro por lo que podemos concluir que el conductor de aluminio tiene un costo menor que el conductor de cobre , para iguales secciones.
Para una sección superior del conductor de aluminio dos números más tenemos que el costo es de 7.50 dólares el metro.

ANALISIS ECONOMICO DE TASAS: TASA INTERNA DE RETORNO (TIR), BENEFICIO / COSTO Y VALOR PRESENTE.

El análisis económico se hace en base a la capacidad de carga que puede transportar el conductor, considerando costos de tarifas proporcionados por la EEQ para el cálculo de la energía, tanto transmitida, como la energía por pérdidas en la transmisión, además se considera un tiempo de 12 horas. Los costos para la ejecución total de las redes subterráneas son los valores referenciales, proporcionados por la EEQ .

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).

Este método consiste en igualar los ingresos con los egresos, con la igualación se hace que los ingresos sean exactamente igual a los gastos en valor presente para lo cual se utiliza la siguiente expresión :

$$\sum_{j=0}^{n}(I_j - G_j)*(1+i)^{-j} = 0$$

Para lo cual tenemos los siguiente datos para el conductor de cobre::

El costo del cable tripolar # 2 de cobre por Km es 6500 dólares

Para los ingresos calculamos el costo de la energía:

$$P = V * I * f_p$$

P= 5 kV X 150 A X 1

P= 750 kW.

Energía = 750 kW X 12 h X 30 días

Energía = 270000 kWh/mes

Costo = 270000 X 0.08 dólares

Costo = 21600 dólares al mes.

Costo al año = 21600 X 12 = 259200 dólares al año.

Ingresos : 259200 dólares.

Costo por pérdidas de energía = 270000 X 0,0022 dólares, (costo obtenido en la página web del Conelec.

Costo por pérdidas de energía = 594 dólares al mes.

Costo por pérdidas de energía al año = 594 X 12 = 7128 dólares .

Costo por pérdidas de energía al año = 7128 dólares

Costo de demanda: 5.7 dólares por kW/mes (datos dados por el CONELEC)

Costo de demanda al año: 5.7 * 12 = 68.4 dólares por kW/año

Pérdidas de potencia = $3 * I^2 * R$

Pérdidas de potencia = $3 * 150^2 * 0.11$ = 7425 W

Pérdidas de potencia = 7.425 kW

Los costos por pérdidas de potencia son:

Costo de demanda = 7.425 * 68.4 = 507.87 dólares al año.

Mano de obra y transporte : 22000 dólares

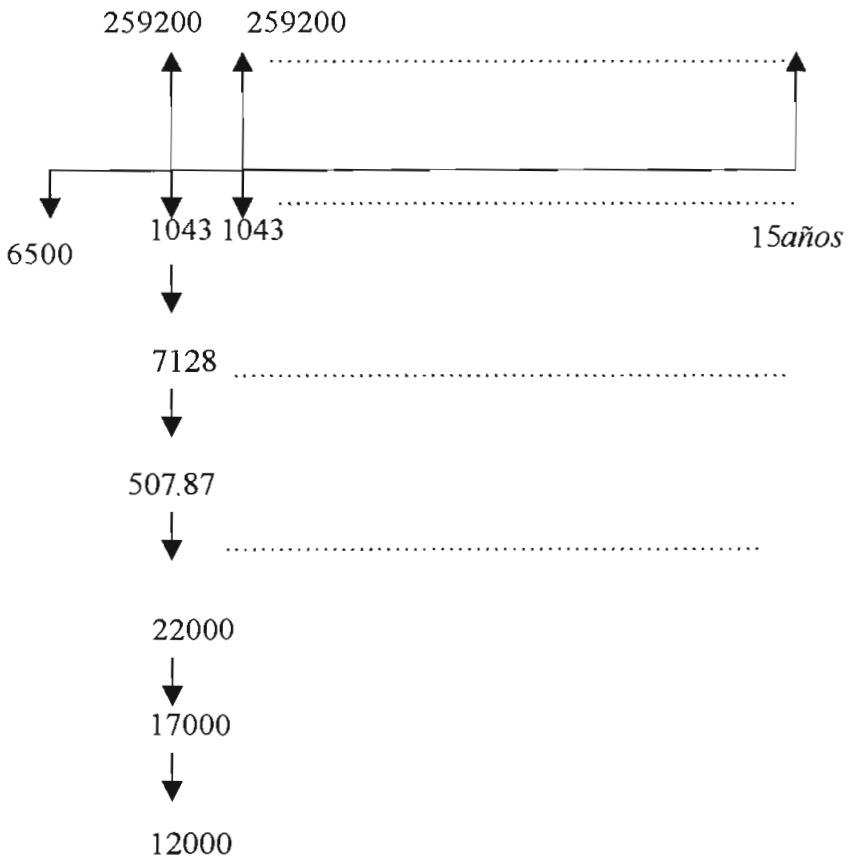
Materiales : 17000 dólares

Operación y mantenimiento : 1043 dólares

Varios : 12000 dólares

i = 8.16 % donde i = TMRA => tasa de rendimiento mínimo aceptable

El dato del interés fue proporcionado por el Banco Del Pacífico.



$$6500 + 51000 \times (1+i)^{-15} = 249634.6 \times \left(\frac{(1+i)^{15} - 1}{(1+i)^{15} \times i} \right)$$

i = 38,54%

Como el TIR > TRMA es conveniente la inversión.

Para el caso del conductor de aluminio tenemos el siguiente cálculo considerando las mismas condiciones que para el conductor de cobre, pero considerando la sección del conductor de aluminio dos números más que la del cobre.

El costo del cable tripolar # 2/0 de aluminio por Km es 5900 dólares

Para los ingresos calculamos el costo de la energía:

$$P = V * I * f_p$$

P= 5 kV X 170 A X 1

P= 850 kW.

Energía = 850 kW X 12 h X 30 días

Energía = 306000 kWh/mes

Costo = 306000 X 0.08 dólares

Costo = 24480 dólares al mes.

Costo al año = 24480 X 12 = 293760 dólares al año.

Ingresos : 293760 dólares.

Costo por pérdidas de energía = 306000 X 0,0022 dólares

Costo por pérdidas de energía = 673.2 dólares al mes.

Costo por pérdidas de energía al año = 673.2 X 12 = 8078.4 dólares .

Costo por pérdidas de energía al año = 8078.4 dólares

Costo de demanda: 68.4 dólares por kW/año

Pérdidas de potencia = $3 * I^2 * R$

Pérdidas de potencia = $3 * 170^2 * 0.099$ = 8583.3 W

Pérdidas de potencia = 8.5833 kW

Los costos por pérdidas de potencia son:

Costo de demanda = 7.5833 * 68.4 = 518.698 dólares al año.

Mano de obra y transporte : 22000 dólares

Materiales : 17000 dólares

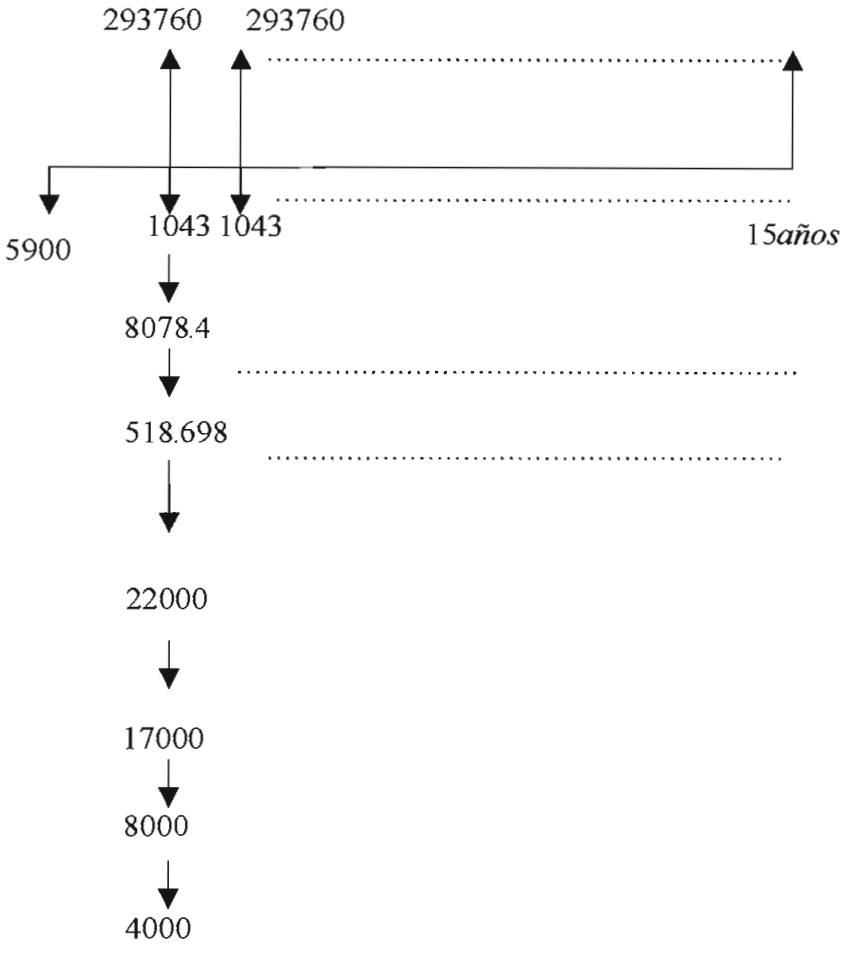
Operación y mantenimiento : 1043 dólares

Varios : 8000 dólares.

Estudio de Mercado: 4000 dólares

i = 8.16 % donde i = TMRA => tasa de rendimiento mínimo aceptable

El dato de interés anual fue proporcionado por el Banco Del Pacífico.



$$5900 + 51000 \times (1+i)^{-15} = 283026.66 \times \left(\frac{(1+i)^{15} - 1}{(1+i)^{15} \times i} \right)$$

i = 48.15%

Como el TIR > TRMA es conveniente la inversión.

Para el caso de las dos alternativas escogemos el que mayor TIR tiene, que en este caso es el conductor de aluminio entonces económicamente resulta mejor el conductor de aluminio que el del cobre mediante este método.

VALOR PRESENTE (VP)

Consiste en llevar a una fecha presente con la tasa mínima aceptable

Conductor de cobre:

$$\text{VP Ingresos} = 259200 \times \left(\frac{(1+i)^{15} - 1}{(1+i)^{15} \times i} \right)$$

$$\text{VPI} = 259200 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$$

VPI = 2196979.2 dólares.

$$\text{VP costos} = 1043 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.816} \right)$$

VPC1 = 8840.468 dólares.

$$\text{VPC2} = 51000 \times (1+i)^{-15}$$

$$\text{VPC2} = 51000 \times (1+0.0816)^{-15}$$

VPC2 = 15724.252 dólares.

$$\text{VPC3} = 7128 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$$

VPC3 = 60416.928 dólares.

$$\text{VPC4} = 518.698 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$$

VPC4 = 4304.71 dólares.

Inversión = 6500 dólares

VPI – VPC1 – VPC2 – VPC3 –VPC4 - 6500 = 0

2196979.2 – 8840.468 – 15724.252 – 60416.928 – 4304.71 - 6500 = 2101192.842 dólares

Como se puede observar el resultado si se puede realizar la inversión.

Para el conductor de aluminio :

VP Ingresos = $293760 \times \left(\frac{(1+i)^{15} - 1}{(1+i)^{15} \times i} \right)$

VPI = $293760 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$

VPI = 2489909.76 dólares.

$VP\ costos = 1043 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$

VPC1 = 8840.468 dólares.

VPC2 = $51000 \times (1+i)^{-15}$

VPC2 = $51000 \times (1+0.0816)^{-15}$

VPC2 = 15724.252 dólares.

$VPC3 = 8078.4 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$

VPC3 = 68472.5184 dólares

VPC4 = $518.7 \times \left(\frac{(1+0.0816)^{15} - 1}{(1+0.0816)^{15} \times 0.0816} \right)$

VPC4 = 4396.482

Inversión = 5900 dólares

VPI – VPC1 – VPC2 – VPC3 - 6500 = 0

2489909.76 – 8840.468 – 15724.252 – 68472.5184 – 4396.482 - 5900 =

2386576.0396 dólares.

Como se puede observar el resultado, si se puede realizar la inversión teniendo en cuenta que la mejor alternativa es el conductor de aluminio.

TASA COSTO BENEFICIO (B/C)

Se la calcula con la relación de valores actualizados o valores presentes de costos y beneficios.
Para el cobre:

$$B/C = \frac{Beneficio_{actual}}{Costo_{actual}}$$

$$B/C = \frac{2196979.2}{89286.35412}$$

B / C = 24.61

Para el aluminio:

$$B/C = \frac{2489909.76}{97433.7202}$$

B / C = 25.55

Analizando las dos alternativas el conductor de aluminio resulta ser más económico que el conductor de cobre.
En conclusión por los resultados obtenidos por los tres métodos el conductor de aluminio resulta económicamente factible para la ejecución de una instalación subterránea, pero se debe considerar que la sección utilizada es mayor que la del cobre, por ende puede traer más dificultad en su instalación .
Además por información proporcionada por la EEQ, esta no utiliza el conductor de aluminio por sus desventajas técnicas que tiene éste en comparación con el conductor de cobre, ya que han tenido varias dificultades en instalaciones realizadas.

Este conductor se puede utilizar siempre y cuando trabaje dentro de los rangos indicados por los fabricantes como es una sobre carga, un elevado voltaje, etc., ya que el conductor puede resultar averiado y resultaría muy costoso hacer una nueva instalación para repararlo.

Lo que no sucede con el conductor de cobre que puede soportar una sobrecarga durante un periodo establecido por normas y fabricantes, y por las ventajes eléctricas que posee el mismo.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- CONCLUSIONES:

- Mediante el análisis realizado para el cálculo de cables subterráneos se puede concluir que el conductor de cobre tiene mayor capacidad de carga que el conductor de aluminio, debido a sus propiedades eléctricas, ya sea en condiciones normales como en diferentes formas de instalación .

- La capacidad de carga de los cables subterráneos dependen de varios factores como son : la temperatura ambiente, la temperatura máxima admisible del conductor , la resistividad del suelo, la sección , y otros factores indicados en el capitulo III. Se debe tener mucho cuidado de no sobrepasar los limites térmicos recomendados por los fabricantes y normas, para evitar el calentamiento excesivo del conductor provocando el envejecimiento rápido del cable ,su aislamiento y sus capas protectoras.

- De acuerdo con los resultados obtenidos en el programa digital el conductor de cobre tiene una mayor capacidad de carga que el de aluminio. Por ejemplo el conductor de cobre # 4/0 AWG (296 [A]) que el conductor de aluminio # 4/0 AWG (233 [A]), en condicione normales y en diferentes formas de instalación tenemos (504 [A]) para el cobre y (397 [A]) para el aluminio, cuyos porcentajes de errores se encuentran en un rango del 0 al 5 % , por lo cual se pueden aceptar los valores obtenidos por el sistema ya que se encuentran dentro de los parámetros aceptables por las normas.

- Se concluye, que de la capacidad de carga y del tipo de instalación a la cual van a ser sometidos los cables , depende la selección adecuada del cable con su aislamiento y sus capas protectoras, para evitar de esta

manera daños futuros en la instalación y garantizar técnica - económicamente el proyecto.

- La influencia de la profundidad en el tendido del cable bajo tierra es pequeña. Si se aumenta dicha profundidad , se reduce la temperatura del medio ambiente y, en general, también la resistencia térmica específica, debido a que las zonas más profundas del suelo son normalmente más húmedas y conservan más uniformemente la humedad que las capas superiores .

- Los datos de los cables van a variar de acuerdo a la pureza de los materiales ya que la resistividad y conductibilidad dependen del grado de pureza de los materiales de los conductores, descendiendo al incrementarse las impurezas, por lo que mientras más puros sean los materias mejor será el conductor para la transmisión de energía eléctrica.

- Las especificaciones de los conductores varían de acuerdo a los fabricantes y a las normas utilizadas; como son las normas VDE, las normas IPCEA/NEMA, cuyas especificaciones se detallan en el Capitulo IV.

- Los valores para el cálculo de la capacidad de carga mediante el programa digital son tomados de datos de los fabricantes y tablas según las normas internacionalmente aceptadas. Los valores obtenidos varían dentro de porcentajes aceptables, como es un porcentaje promedio del 1.4 %.

7.2.- RECOMENDACIONES:

- Para la ejecución correcta del sistema " PRODIGITAL " se recomienda leer el manual del usuario, en el cual se explica todo el proceso y cada una de las pantallas presentadas en el cálculo de la capacidad de carga. Se incluye una opción de ayudas para que el usuario pueda tener un conocimiento de los cables empleados en el proyecto sus aplicaciones y limitaciones de instalación, y otras referencias para el manejo correcto del sistema.

- Cuando se instalen varios cables subterráneos en una misma zanja se recomienda separarlos entre sí una distancia de 7 cm, tanto para conductores tripolares como para conductores monopolares dispuestos sobre un plano. Para conductores monopolares dispuestos en haz se recomienda una separación de 25 cm, según las normas VDE.

- Los resultados obtenidos mediante el programa computacional de la capacidad de carga, nos indican que no debemos sobrepasar dicha capacidad, para evitar así la destrucción del cable, por lo cual se recomienda utilizar el cable más adecuado para ese tipo de instalación.

- Se debe tener mucho cuidado en ingresar en el programa computacional en la opción de " MANTENIMIENTO ", datos reales ya que al ingresar valores erróneos va a obtener resultados erróneos, que pueden ser mal utilizados en la selección del cable.

- En el momento de la instalación del programa digital, no olvide instalar directamente en la unidad C, y tratar de usar un lenguaje de igual versión que el programa " Microsoft Visual Basic 6.0 " para evitar errores en la ejecución del programa, y en la lectura de la base de datos.

- Mediante el análisis desarrollado técnica y económicamente en el proyecto de titulación, se recomienda utilizar el conductor de cobre para redes subterráneas, ya que presentan las mejores condiciones técnicas, mejorando así la confiabilidad , la calidad, y la seguridad de las redes. El conductor de aluminio es utilizado de mejor manera en redes aéreas, debido a que su peso es menor que el conductor de cobre.

- Los cables subterráneos de cobre pueden soportar mayores sobrecargas que los cables de aluminio sin que sufran daños en su aislamiento, por lo que comúnmente las empresas eléctricas recomiendan y utilizan el cable de cobre para las redes subterráneas.

CAPITULO VIII : BIBLIOGRAFÍA:

- Redes Eléctricas - Jacinto Viqueira Landa.

  México D. F. 1968

- Electrical Transmision and Distribution Reference - Westinghouse

  Pensylvania – 1964

- Cables y Conductores para el Transporte de Energía – Lothar Heinhold.

  SIEMENS - 1970

- Instalaciones Eléctricas Generales - José Ramírez Vásquez

  Ediciones CEAC. Barcelona España 1974

- Switchgear Manual - Brown, Boveri & Cie

  Germany - 1975

- IPCEA – NEME Standards Publication

  National Electrical Manufacturers Association - 1971

- TESIS "CAPACIDAD TERMICA DE CABLES EN DUCTOS Y BANDEJAS" Ing: Luis E. Tapia Calvopiña - 1976

- Manual de Ingeniería Eléctrica Tomo I Donald G. Fink

  México 1996

- TESIS " CALCULO DE PARAMETROS EN REDES DE DISTRIBUCION AEREAS Y SUBTERRANEAS.

- Siemens. " Instalaciones Eléctricas " tomo 2

GUNTER G. SEIP.

- Leland T. Blank INGENIERIA ECONOMICA , Mc. Graw Hill

Cuarta edición 2000

- CENTELSA. Catálogos de cables " Cables para Media Tensión".

Publicación Año 2001

- CABLEC. Catálogo de conductores eléctricos 2001

- http://bdd.unizar.es/Pag2/Tomo1/Indice.htm

Características y tipos de los cables eléctricos para conducción de corriente.

- http://www.cearca.com

conductores eléctricos de cobre y aluminio. Argentina

- Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica

Enriquez Harper, Gilberto Vol. I 1980