1487

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SEMINARIO DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO DE UNA LINEA DE TRANSMISION
CALCULO ELECTRICO

UNICO

U. N. A. M.

Trabajo que para obtener el título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
presenta el pasante

GUILLERMO DANIEL SANCHEZ AGUILAR

MEXICO, D. F. 1969

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES gracias

A MIS HERMANOS por todo lo que

he aprendido de ellos

A LUPITA

mi gran ilusión

RECONOCIMIENTO

Debo reconocer la gran ayuda que me brindó el ING. JACINTO VIQUEIRA, con sus consejos y directrices en el desarrollo de este trabajo, como director de nuestro seminario: DISEÑO DE UNA LINEA DE TRANSMISION. Sin duda fue una gran ayuda tenerlo como director del seminario.

A mi buen amigo Horacio González por su desinteresada colaboración, y a todos aquellos que me alentaron en el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

I INTRODUCCION

II GENERALIDADES

III CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS ELECTRICAS

3.1 Fórmulas

3.2 Cálculo de R, XL y XC para el diseño original

3.3 Cálculos para el diseño de este proyecto

Secuencia positiva y negativa

3.3.1 R, XL y XC para ACSR y cobre por medio de las tablas

3.3.2 R, XL y XC para ACSR y cobre por medio de fórmulas

Secuencia cero

3.3.3 Zoo, Xoo para ACSR y cobre por medio de las tablas

3.3.4 Zoo, Xoo por medio de fórmulas

IV REGULACION Y EFICIENCIA DE LA LINEA

4.1 Considerándola como línea corta

4.2 Considerándola como línea media

V PROGRAMA PARA COMPUTADORA

5.1 Definición y características generales del programa

5.2 Definición de los nombres de variables usados en el programa

5.3 Cómo usar el programa

5.4 Listado del programa

5.5 Resultados del programa

VI COMPARACION DE VALORES Y CONCLUSION

I. INTRODUCCION

Antes de entrar en materia quiero hacer una breve introducción y explicar la manera cómo llevamos a cabo este seminario.

Empezaré por decir que el tema de este seminario de Ingeniería Eléctrica es:

DISEÑO DE UNA LINEA DE TRANSMISION

Para desarrollar este seminario participamos 12 alumnos. Ahora bien, este grupo de 12 alumnos fue dividido en tres grupos cada uno de los cuales debe desarrollar un proyecto completo de una línea de transmisión.

Aparte de desarrollar cada uno de estos tres grupos un proyecto completo de una linea de transmisión, se nos asignó un trabajo individual sobre el Diseño de una Linea de Transmisión, de manera que así desarrollamos un trabajo individual y un trabajo de equipo.

Los resultados obtenidos del trabajo individual se incorporaron a los proyectos de equipo, teniendo así un proyecto más completo.

Mi trabajo de equipo fue el proyecto de la linea de transmisión de 85 KV de Cerro Gordo a Valle de México; y el individual todo el cálculo eléctrico de una linea de transmisión. Los resultados obtenidos de mi cálculo eléctrico fueron aplicados como ejemplo concreto a la linea de 85 KV de Cerro Gordo a Valle de México.

II. GENERALIDADES.

El diseño de la linea de transmisión que preparamos, abarcó los siguientes puntos

1. Disposiciones del reglamento de obras e instalaciones eléctricas cas sobre las lineas de transmisión.
2. Elección y trazado de la ruta.
3. Determinación del número de circuitos.
4. Elección del voltaje de transmisión.
5. Elección del nivel de aislamiento:
   a) aisladores
   b) distancias a tierra.
6. Aisladores y herraje.
7. Elección del conductor.
8. Cálculo de las características eléctricas de la línea:
   a) resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva de secuencia positiva
   b) impedancia inductiva y reactancia capacitiva de secuencia cero
   c) regulación y eficiencia de la línea.
9. Efecto corona y radio interferencia
10. Protección contra rayos
    a) cables de guarda
    b) conexión a tierra de las torres.

11. Cálculo mecánico de los conductores y cables de guarda
    a) distintos tipos de cables y características mecánicas
    b) diversos métodos de cálculo
12. Dimensiones de las estructuras de soporte y fuerzas ejercidas sobre ellas y sobre las cimentaciones.
13. Localización de las estructuras de soporte.
14. Construcción de las líneas de transmisión y mantenimiento de las mismas.

El trabajo individual que yo desarrollé fue sobre el cálculo de las características eléctricas de una línea, que incluye:

a) resistencia, reactancia inductiva y reactancia capacitiva de secuencia positiva
b) impedancia inductiva y reactancia capacitiva de secuencia cero
c) regulación de voltaje y eficiencia de la línea.

Este punto he de desarrollarlo en una forma breve pero completa, es decir, sin entrar a demostración de fórmulas pero he de aplicar varios métodos en el cálculo eléctrico éstos son: por tablas, por fórmula directa, y por medio de una computadora, para lo cual haré un programa.

Como ejemplo concreto de estos cálculos, los aplicaré a nuestro proyecto de la línea de 85 KV de Cerro Gordo a Valle de México por lo cual creo conveniente dar las características y los datos generales de esta línea:

2.2 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA LINEA

1. Longitud - - - - - - - - - - - - - - - - - - - 11.286 km
2. Altitud sobre el nivel del mar - - - - - - - - - 2,250 m
3. Número de circuitos - - - - - - - - - - - - - 2
4. Voltaje nominal - - - - - - - - - - - - - - - - 85 kv
5. Corriente máxima por conductor - - - - - - - 1000 amps
6. Frecuencia - - - - - - - - - - - - - - - - - - 50 c.p.s.
7. Tipo de sistema - - - - - - - - - - - - Y con neutro conectado a tierra
8. Estructuras soportadoras - - - - - - - Torres metálicas
9. Conductores:

   De la sub-estación Cerro Gordo a la torre No. 20; y de la torre No. 36 a la sub-estación Valle de México cable XCSR 1,113 MCM, 54/19.

   De la torre No. 20 a la torre No. 36, cable de cobre 700 MCM, 37 hilos

10. Cables de guarda:

    Aunque en el proyecto existente no tiene cables de guarda debido a la protección que tiene la línea de 220 kv que pasa junto a ésta. En este proyecto la consideraremos aislada y por lo tanto llevará cables de guarda de acero galvanizado Siemens-Martin, 3/16" Ø, 7 hilos.

11. Características del derecho de vía - - - - - - llano

12. Corrosión.

En el tramo de la línea comprendido entre el kilómetro 4 y el km 5, hay una zona de corrosión intensa debida a los vapores que se desprenden de la fábrica de ácidos "División Cloromex" de Industria Nacional Química Farmacéutica.

En el tramo de la línea comprendido entre el km 5 y el km 7 hay otra zona de corrosión debida a los vapores que se desprenden de la fábrica "Sosa Texcoco, S.A."

2.3 CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES

a) Cable de aluminio con alma de acero de 1,113 MCM

(entre la subestación Cerro Gordo y la torre No. 20 y entre la torre No. 36 y la sub-estación Valle de México)

composición
54 hilos de aluminio de 0.1436" $\emptyset$ = 3.6mm $\emptyset$
19 hilos de acero de 0.0862" $\emptyset$ = 2.2 mm $\emptyset$

Area completa del cable - - - 0.985 pulg^2 = 635.2 m^2

Diámetro exterior - - - - - - 1.293 pulg^2 = 32.8 mm

Carga de ruptura - - - - - - 40,000 lb = 18,144 kg

Peso - - - - - - - - - - - - - 1,423 lb/pie = 2.117 kg/m

Módulo inicial de --------- 6.9 x 10^6 lb/pulg^2 = 48.51 x 10^4 kg/cm^2

elasticidad final -------- 9.25 x 10^6 lb/pulg^2 = 65.04 x 10^4 kg/cm^2

Coeficiente de dilatación - - - - - 19.26 x 10^{-6}/^{o}C

b) Cable de cobre de 700 MCM

(entre torres No. 20 y No. 36)

composición: 37 hilos de 0.1375" Ø = 3.49 mm ø

Area - - - - - - - - - - - 354.2 mm^2

Diámetro exterior - - - - 0.963" = 24.43 mm

Carga de ruptura - - - - - 31,170 lb = 14,138 kg

Peso - - - - - - - - - - - 11,410 lb/milla = 3.216 kg/m

Modulo de elasticidad
inicial - - 14.5×10^6 lb/pulg^2 = 101.95×10^4 kg/cm^2
final - - 17.0×10^6 lb/pulg^2 = 119.5×10^4 kg/cm^2

Coeficiente de dilatación - - - 16.92×10^{-6} pie/^{o} C

c) <u>Cables de guarda</u>

Características generales:

Los cables de guarda serán cables de acero Siemens-Martin galvanizados de 8 mm ø (5/16" ø), 7 hilos, con las siguientes características:

Composición: 7 hilos de 0.104" ø = 2.6 mm ø

Diámetro exterior - - - - 5/16" = 8 mm

Area - - - - - - - - - - - 0.05946 pulg^2 = 38.36 mm^2

Carga de ruptura - - - - 5,350 lb = 2,427 kg

Peso - - - - - - - - - - - 0.205 lb/pie = 0.305 kg/m

Módulo de elasticidad - - 27.50×10^6 lb/pulg^2 = 193.35×10^4 kg/cm^2

Coeficiente de dilatación - 11.52×10^{-6} pie/^{o} C

III. CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS ELECTRICAS

3.1 Fórmulas de las características eléctricas.

a) Resistencia. - La resistencia se puede calcular fácilmente por dos métodos, ya sea directamente por las tablas, donde únicamente bastará buscar el tipo de conductor que estamos empleando y multiplicarlo por la longitud de la línea. Las tablas existentes tienen los conductores más usados, es decir XCSR y cobre en sus tamaños más usados también de manera que ésto es relativamente fácil de calcular.

La otra forma de calcular la resistencia, es por medio de la siguiente fórmula:

(3.1) ----- $R = P\frac{L}{A}$ donde P = resistividad volumétrica
R = resistencia ohmica
L = longitud del conductor
A = área de la sección recta del conductor

Cabe hacer notar que la resistencia varía con la temperatura (generalmente aumenta con ésta), de manera que cuando se hace el cálculo de una línea habrá que tomar en cuenta a qué temperatura debe calcularse la resistencia para tener un cálculo más preciso.

Puede calcularse la resistencia a una temperatura cualquiera t2 en función de la resistencia a una temperatura t1

$$R_2 = R_1 \ (1 + \alpha_1 \ (t2 - t1)$$

donde el valor de R_1 lo podemos calcular de la siguiente manera:

$$R_2 = R_1 \frac{1 + \alpha_o t2}{1 + \alpha_o t1}$$

α_o = coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura

y esta expresión deberá ser igual a la anterior, de donde si las igualamos y simplificamos, nos queda que:

$$1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + t1}$$

Cuando el conductor es macizo y de permeabilidad constante y sobre todo cuando el conductor trabaja con altas frecuencias, deberá tomarse en cuenta el efecto superficial o efecto Kelvin.

El efecto superficial equivale a una disminución del conductor y por lo tanto a un aumento de la resistencia. Esta nueva resistencia se llama resistencia efectiva y se define como el cociente de la pérdida de energía en el conductor, en un segundo, ρ, dividida por el cuadrado del valor eficaz de la corriente

$$Re = \frac{\rho}{I^2_{ef}}$$

También se puede calcular de la siguiente manera, cuando el conductor tiene permeabilidad constante:

$$\frac{Re}{R} = k$$

R = resistencia ohmica

Re = resistencia efectiva

k se llama coeficiente de efecto superficial y es una función de

una variable x dada por la siguiente expresión:

$$x = 2\pi r \sqrt{\frac{2 f \mu}{\rho \times 10^9}}$$

donde

donde r = radio del conductor en cm
f = frecuencia en c. p. s.
= permeabilidad relativa
= resistividad en /cm^3

desarrollando la fórmula anterior nos queda:

$$x = 0.05013 \sqrt{\frac{f \mu}{R}} \quad R \text{ en } \Omega/\text{km}$$

conociendo x se calcula k por medio de unas tablas y con este valor de k se calcula Re

$$Re = kR$$

b) Reactancia inductiva de secuencia positiva.

Como en la resistencia y en las otras características eléctricas, la reactancia inductiva se puede calcular por dos métodos: por fórmula y por tablas.

La fórmula general para calcular la reactancia inductiva es:

3. 2) ---- $XL = 0.00289\ f \log_{10} \frac{DMG}{RMG}\ \Omega/\text{km}$ de conductor

siendo:

XL = reactancia inductiva en Ω/km

f = frecuencia en c. p. s.

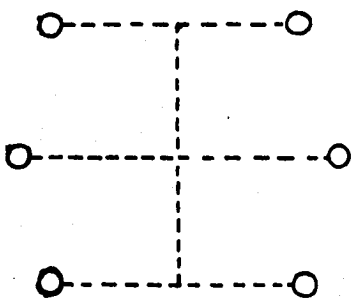
DMG = Distancia media geométrica

RMG = Radio medio geométrico

*Hay que tener mucho cuidado con los términos DMG y RMG pues son los que varían según la geometría del circuito, el

Número de conductores por fase, el número de circuitos, y el tipo de conductor que se use. Pero la expresión anterior es general totalmente y puede generalizarse por ejemplo a circuitos trifásicos con n conductores en paralelo por fase, siempre que la magnitud de la corriente en todos los conductores sea igual, lo que implica que los conductores estén colocados en una disposición simétrica, de manera que cada conductor esté equidistante de los otros, o bien que se han hecho las transposiciones necesarias.

Por ejemplo, si tenemos 2 circuitos trifásicos en paralelo, como se ve en la figura, tendremos:



El radio medio geométrico del conjunto de dos conductores correspondientes a la fase A es:

$$RMGA = \sqrt[4]{ra\,ra'\,d^2_{aa'}}$$

ra = radio medio geométrico del conductor a

ra' = radio medio geométrico del conductor a'

daa' = distancia entre los conductores a y a'

Si los conductores de los dos circuitos son iguales como ocurre generalmente $ra = ra' = r_1$

$$RMGA = \sqrt[4]{r_1^2\, da^2 a'}$$

$$RMGB = \sqrt[4]{r_1^2 d^2 bb'}$$

$$RMGC = \sqrt[4]{r_1^2 d^2 cc'}$$

$$y\ RMG = \sqrt[3]{RMGA \times RMGB \times RMGC}$$

La distancia media geográfica sería la siguiente:

$$DMG_{AB} = \sqrt[4]{dab \times dab' \times da'b \times da'b'}$$

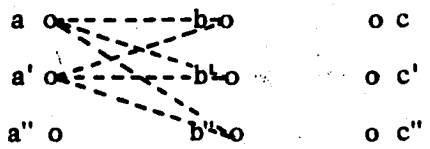
$$DMG_{AC} = \sqrt[4]{dac \times dac' \times da'c \times da'c'}$$

$$DMG_{BC} = \sqrt[4]{dbc \times dbc' \times db'c \times db'c'}$$

de donde:

$$DMG = \sqrt[3]{DMG_{AB} \times DMG_{AC} \times DMG_{BC}}$$

si tenemos varios conductores por fase el procedimiento será similar, nada más que habrá que tomar en cuenta todas las distancias entre los conductores, es decir, si por ejemplo tenemos 3 conductores por fase



tendríamos para el caso más general en que todos los conductores sean distintos (lo que es muy raro):

$$RMG_A = \sqrt[9]{ra \times ra' \times ra'' \times d^2 aa' \times d^2 aa'' \times d^2 a'a''}$$

$$DMG_{AB} = \sqrt[9]{dab \times dab' \times dab'' \times da'b \times da'b' \times da'b'' \times da''b \times da''b' \times da''b''}$$

y así para las otras fases.

Generalizando más para n conductores por fase dispuestos simétricamente sobre un círculo de radio R tendríamos:

$$RMG = \sqrt[n]{nrR^{n-1}}$$

Por tablas. - El cálculo de XL se puede efectuar por medio de las tablas, quedando así:

$$XL = X\,a + X\,d$$

los dos valores X a y X d se obtienen de las tablas; la única aclaración que hay que hacer aquí es que para calcular X d hay que entrar a las tablas con la distancia media geométrica en pies.

c) reactancia capacitiva de secuencia positiva

Para calcularla por medio de fórmula usaremos la siguiente:

3.3) ---- $X\,c = \frac{6.596}{f\,k} \log_{10} \frac{DMG}{RMG}$ MΩ x km/cond

DMG_1 será la misma que para XL

$k = 1$ para el aire

RMG; al calcular el radio medio geométrico de un grupo de conductores, se utilizará el radio exterior de cada conductor y no el radio medo geométrico de cada conductor, ya que la carga eléctrica de los conductores está en la superficie de éstos. Así igualmente nos cambiará la expresión

$$RMG_C = \sqrt[n]{n\,r\,e\,R^{n-1}}$$

donde r e debe ser el radio exterior de cada conductor. Por medio de tablas la reactancia capacitiva se calculará de la siguiente forma

$$Xc = Xa' + Xd' \qquad M\Omega \times km/cond$$

donde Xa' y Xd' se encontrarán en las tablas, otra vez se deberá entrar con DMG en pies para calcular X'd.

d) Impedancia inductiva de secuencia cero

La fórmula más general para calcular la impedancia inductiva de secuencia cero es la siguiente:

$$3)\text{---------}\ Zoo = Zoo_l - \frac{(Zoo\ lg)^2}{Zoog}$$

donde Zoo es la impedancia equivalente de secuencia cero de un sistema formado por un circuito trifásico o varios circuitos trifásicos en paralelo y uno o varios hilos de guarda.

Zoo_l = impedancia inductiva de secuencia cero propia de la línea

Zoo_{lg} = impedancia inductiva de secuencia cero mutua entre la línea y el cable de guarda

Zoog = impedancia inductiva de secuencia cero propia de los cables de guarda

Los valores de Zoo_l, Zoo_g y Zoo_{lg} se derivan de las fórmulas de Carson. Despreciando los factores de corrección:

$$Zoo_l = R + 0.002964\ f + j\ 0.008676\ f \log_{10} \frac{De}{RMG_l}$$

$$Zoo_g = 3\ Rg + 0.002964\ f + j\ 0.008676\ f \log_{10} \frac{De}{rg}$$

$$Zoo_{lg} = 0.002964\ f + j\ 0.008676\ f \log_{10} \frac{De}{DMG_{lg}}$$

donde $De = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$ metros e resistividad del terreno o de los hilos ρ /m/m^2

Rg = radio medio geométrico del hilo o de los hilos de guarda

DMG_{lg} = distancia media geométrica entre los conductores y el o los hilos de guarda

Cabe aquí hacer notar que si tenemos 2 hilos de guarda, lo cual es muy frecuente, la expresión Zoo_g quedará de la siguiente forma:

$$Zoo_g = \frac{3}{2} Rg + 0.002964\, f + j\, 0.008676\, f \log_{10} \frac{De}{RMG_g} \Omega/km$$

donde $RMG_g = \sqrt{Rg\, d\, g\, g'}$

Igualmente si en lugar de un circuito tenemos dos, la expresión Zoo_1 quedará así:

$$Zoo_1 = \frac{Rc}{2} + 0.002964\, f + j\, 0.008676\, f \log_{10} \frac{De}{RMG_1} \Omega/km$$

Las consideraciones y cálculos de DMG y RMG serán similares que las que mencionamos cuando calculamos XL y Xc nada más que aquí habrá que tomar en cuenta los cables de guarda y su disposición

Los cálculos anteriores los podemos efectuar por medio de tablas de la siguiente manera:

La impedancia inductiva propia de secuencia cero de un circuito trifásico sin cables de guarda, está dada por la siguiente expresión:

$$Zoo_g = ra + re + j\,(Xe + Xa - 2Xd)\ \Omega\ /milla$$

donde $Xd = \frac{1}{3}\,(Xd(ab) + Xd(ac) + Xd(bc))\ \Omega/milla$

Cuando la línea tiene cables de guarda, tendremos los siguientes casos:

La impedancia de secuencia cero propia de un cable de guarda está dada por la siguiente expresión:

$$Zoo_g = 3\, ra + re + j\,(Xe + 3\, Xa)\ \Omega/milla$$

y para dos cables de guarda esta expresión quedaría así:

$$Zoo_g = \frac{3}{2} ra + re + j\,(Xe + \frac{3}{2} Xa - \frac{3}{2} Xd)\ \Omega/\text{milla}$$

La impedancia de secuencia cero mutua entre un cable de guarda y un circuito trifásico es:

$$Zoo_{lg} = re + j\,(Xe - 3Xd)\,\Omega/\text{milla}$$

donde $Xd = \frac{1}{3}\ Xd(ag) + Xd(bg) + Xd(cg)\ \Omega/\text{milla}$

La impedancia de secuencia cero mutua entre dos cables de guarda y un circuito trifásico es:

$$Zoo_{lg} = re + j\,(Xe - 3Xd)\ \Omega/\text{milla}$$

donde $Xd = \frac{1}{6}(Xd_{(ag)} + Xd_{(bg)} + Xd_{(cg)} + Xd_{(ag')} + Xd_{(bg')} + Xd_{(cg')}$

quedando la fórmula general de la impedancia inductiva de secuencia cero:

$$Zoo = Zoo_l - \frac{(Zoo_{lg})^2}{Zoo_g}$$

e) <u>Reactancia capacitiva de secuencia cero.</u>

La reactancia capacitiva de secuencia cero viene dada por la siguiente expresión:

$$Xoo = \frac{6.596}{f}\ \log_{10} \frac{\sqrt[3]{daa' X dbb' \times dcc' \times d^2ab' \times d^2ac' \times d^2bc'}}{r\sqrt[3]{(dab \times dac \times dbc)^2}}\ \Omega \times km$$

La ecuación anterior la podemos escribir también así:

$$Xoo = \frac{6.596}{f} \times 3\ \log_{10} \frac{\sqrt[9]{daa' \times dbb' \times dcc' \times d^2ab' \times d^2ac' \times d^2bc'}}{\sqrt[3]{r\sqrt[3]{(dab \times dac \times dbc)^2}}}$$

El numerador del quebrado del logaritmo es la distancia media geométrica entre los conductores y sus imágenes y el denominador es el radio medio geométrico del conductor ficticio équivalente a los tres conductores en paralelo.

Mediante las tablas de características de líneas aéreas también podemos calcular la reactancia capacitiva de secuencia cero, de un circuito trifásico de la siguiente forma:

$$Xoo = Xa' + Xe' - \frac{2}{3}X'd \quad M\Omega \times \text{milla}$$

donde $X'd = (X'dab + X'dbc + X'dac)$

3.2. Cálculos para el diseño original

Cálculos de R, XL, Xc,

Debido a que la línea de transmisión de nuestro proyecto se compone de dos materiales, aluminio con alma de acero y cobre haré los cálculos para los dos conductores y luego sumaré los resultados para obtener las características totales de la línea

3.2.1 para ACSR con 54/19 1,113 MCM

a) Cálculo de la resistencia.

Aquí despreciaremos el efecto Kelvin ya que éste sólo es importante cuando se tienen altas frecuencias; el cálculo lo haré para una temperatura de 50° C ya que es una temperatura frecuente de alcanzar sobre todo en el campo.

Para el cable ACSR de 1113 MCM 54/19 a 50° C y 50 c.p.s. le corresponde una $a = 0.0957\,\Omega$/milla. Entonces tenemos:

$$Ra = \frac{0,0957}{1.609} = 0.0595\ \Omega/\text{cond/km}$$

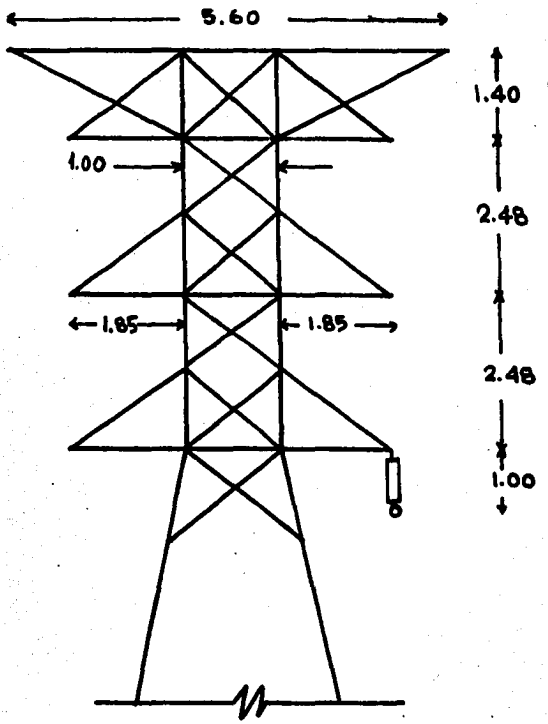
$$Ra = 0.0595 \times 8.206 = 0.489\ \Omega/\text{fase}$$

b) Cálculo de la reactancia inductiva usando la fórmula 3.2

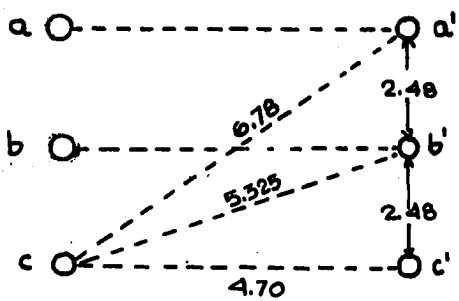
$$XL = 0.00289\ f \log \frac{DMG}{RMG}\ \Omega/\text{km}$$

pasaremos a calcular las distancias medias geométricas y los radios medios geométricos.

El diseño original tiene la siguiente geometría:



Como en el diseño original se consideró sin cables de guarda así lo consideraremos aquí



entonces tendremos:

$$DMG_{AB} = \sqrt[4]{dab \times dab' \times da'b \times da'b}$$ substituyendo valores nos queda

$$DMG_{AB} = \sqrt[4]{2.480 \times 5.325 \times 5.325 \times 2.480} = 2.238 \text{ M}$$

$$DMG_{AC} = \sqrt[4]{dac \times dac' \times da'c \times da'c'}$$

$$DMG_{AC} = \sqrt[4]{4.960 \times 6.780 \times 6.780 \times 4.960} = 5.82 \text{ M}$$

$$DMG_{BC} = \sqrt[4]{dbc \times dbc' \times db'c \times db'c'}$$

$$DMG_{BC} = \sqrt[4]{2.480 \times 5.325 \times 5.325 \times 2.480} = 2.238 \text{ M}$$

$$DMG = \sqrt[3]{2.238 \times 5.82 \times 2.238} = 3.750 \text{ M}$$

$$DMG = 3.750 \text{ M}$$

$$RMG_A = \sqrt[4]{r_1^2 \, d^2 a \, a'}$$

$$r_1 = 0.81 \times 5$$
$$r_2 = 0.81 \times 1.6 = 1.296 \text{ cm}$$

$$RMG_A = \sqrt{1.296 \times 470} = 24.7 \text{ cm}$$

$$RMG_B = \sqrt{1.296 \times 470} = 24.7 \text{ cm}$$

$$RMG_A = RMG_B = RMG_C = 24.7 \text{ cm}$$

$$RMG = \sqrt[3]{24.73} = 24.7 \text{ cm}$$

$$RMG = 24.7 \text{ cm}$$

Substituyendo en la fórmula y teniendo en cuenta que son dos circuitos trifásicos en paralelo, tendremos:

$$\frac{XL}{2} = 0.00289(50)\log \frac{375}{24.7}$$

$$\frac{XL}{2} = 0.1650 \, \Omega/\text{km}$$

La reactancia en cada conductor será entonces:

$$XL = 0.1650 \times 2 = 0.33 \, \Omega/\text{km}$$

$$XL = 0.33 \, \Omega/\text{km} \qquad XL = 0.33 \times 8.206 = 2.71$$

$$XL = 2.71 \, \Omega \text{ por fase}$$

haciendo uso de las tablas tenemos:

$$XL = Xa + Xd$$

donde $Xa = 0.317\,\Omega$/cond./milla

$Xd = 0.2537\,\Omega$/cond./milla

entonces $XL = 0.317 + 0.2537 = 0.5707\,\Omega$/cond/milla

$XL = 0.350\,\Omega$/cond/km

$XL = 2.90\,\Omega$ por fase

c) Cálculo de la reactancia capacitiva.

También lo haré por los dos métodos, es decir, por fórmula y por tablas.

Usando la fórmula 3.3

$$X_C = \frac{6.596}{fk} \log \frac{DMG}{RMG} \; M\Omega \text{ km/cond}$$

$k = 1$ para el aire

$DMG = 3.750$ m ya calculada

$RMG_A = RMG_B = RMG_C = 1.6 \times 470 = 27.4$ cm

Las fórmulas que empléé aquí suponen una distribución uniforme de las cargas eléctricas en la superficie de los conductores, lo que no es totalmente exacto. Debido a ésto los resultados que se obtienen son de uno a dos por ciento menores que los reales.

Substituyendo valores en la fórmula tenemos como son dos circuitos trifásicos en paralelo:

$$\frac{X_C}{2} = \frac{6.596}{50} \log \frac{375}{27.4}$$

$\frac{X_c}{2}$ = 0.1500 MΩ km/dos conductores en paralelo

X_C = 0.300 MΩ x km $\quad X_C = \frac{0.300}{8.206} = 36700$

X_C = 36,700 Ω

El valor de la reactancia capacitiva usando las tablas es:

$$X_C = Xa' + Xd'$$

Xa' = 0.1040 MΩ x milla

Xd' = 0.0894 MΩ x milla

$$X_C = 0.1040 + 0.0894 = 0.1934 \text{ M}\Omega \text{ x milla}$$

$$X_C = 0.3100 \text{ M}\Omega \text{ x km}$$

$X_C = \frac{0.310}{8.206} = \quad X_C = 37,800\ \Omega$

3.3. Cálculos para el Diseño Actual (de este proyecto).

Se tomaron las siguientes consideraciones

a) para el nivel de aislamiento si tomamos

δ 1/2 = 0.86 y dividimos el voltaje de operación por este factor que será para corregir aislamiento por diferente altura sobre el nivel del mar tendremos:

$\frac{85 \text{ KV}}{0.86}$ = 99 KV voltaje nominal para aislar

Como éste no es un valor estandarizado nos vamos al valor estandar superior más próximo en este caso es 115 KV y para este valor tenemos los siguientes datos:

Tensión de operación	BIL o NBA	No. de aisladores de 10" x 5 3/4"	Distancia a través del aire en cm.
115 KV	550 KV	6	84 cm

Con estos nuevos datos y los del diseño mecánico de la torre diseñamos la forma en que quedarán los circuitos, de manera que enton

ces tendremos lo siguiente:

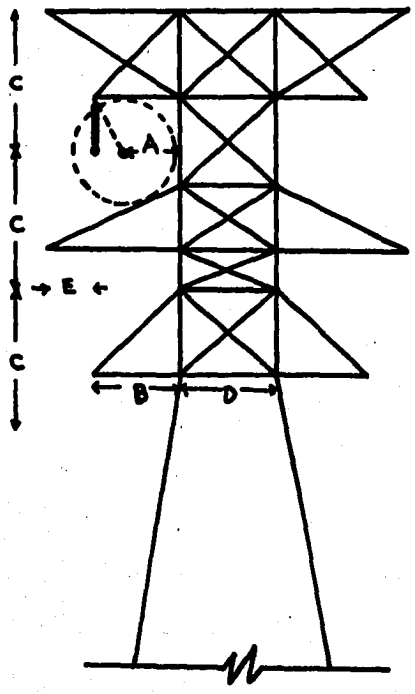
A = 84 + 8.4 = 92.4 = 94 cm

B = 1.5 A = 94 x 1.5 = 141 cm

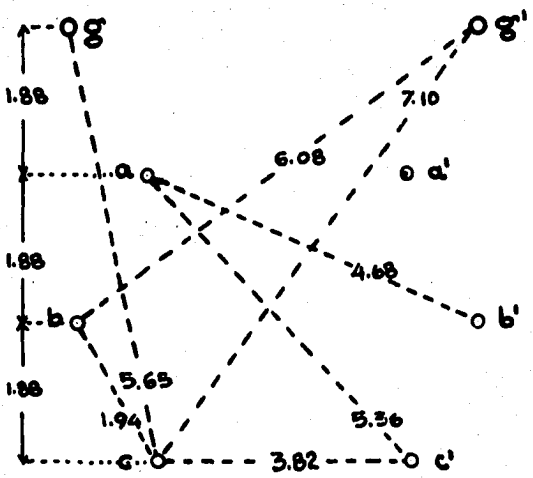
C = 2A = 94 x 2 = 1.88 cm

E = 0.5 A = 0.5 x 94 = 47 cm

D = 100 cm (diseño mecánico)



De manera que nos queda el circuito así:



3.3.1. Cálculo de R, X_L y X_C por medio de las tablas.

para ACSR 1,113 MCM 54/19

a) Ra = 0.095752/cond/milla = $\frac{0.0957}{1.609}$ = 0.0595 Ω/cond/km

b) Reactancia inductiva de secuencia positiva

XL = Xa + Xd

Xa = 0.317 Ω/cond/milla

daa' = 3.82 m
dbb' = 4.76 m
dcc' = 3.82 m
dab = 1.94 m
dbc = 1.94 m
dac = 3.76 m
dab' = 4.68 m
dac' = 5.36 m

$DMG_{AB} = \sqrt[4]{1.94 \times 4.68 \times 4.68 \times 1.94} = 3.01$ m

$DMG_{AC} = \sqrt[4]{3.76 \times 5.36 \times 5.36 \times 3.76} = 4.49$ m

$DMG_{BC} = \sqrt[4]{1.94 \times 4.68 \times 4.68 \times 1.94} = 3.01$ m

de donde obtenemos que:

$$DMG = \sqrt[3]{3.01 \times 4.49 \times 3.01} = 3.44 \text{ m} = 11.3 \text{ pies}$$

entrando con este valor a las tablas obtenemos

$$Xd = 0.2452\,\Omega/\text{milla}$$

sustituyendo estos valores en la fórmula tenemos:

$$X_L = 0.317 + 0.2452 \doteq 0.5622\ \Omega/\text{fase/milla}$$

$$X_L = \frac{0.5622}{1.609} = 0.350\,\Omega/\text{km}$$

$$X_L = 0.350\,\Omega/\text{km}$$

c) Reactancia capacitiva de secuencia positiva

$X_C = Xa' + X'd$ buscando en las tablas

donde $Xa' = 0.1040\ M\Omega$ x milla

$Xd' = 0.0863\ M\Omega$ x milla

$X_C = 0.1040 + 0.0863 = 0.1903\ M\Omega$ x milla

$X_C = 0.306\ M\Omega$ x km

para cobre 700 MCM 37 hilos

a) $Ra = 0.0937\,\Omega$/cond/milla $= 0.0582\,\Omega/\text{km}$

$Ra = 0.0582\,\Omega/\text{km}$

b) Reactancia inductiva de secuencia positiva

$X_C = Xa' + X'd$ buscando en las tablas

donde $Xa' = 0.1040\ M\Omega$ x milla

$Xd' = 0.0863\ M\Omega$ x milla

$X_C = 0.1040 + 0.0863 = 0.1903\ M\Omega$ x milla

$X_C = 0.306\ M\Omega$ x km

Para cobre 700 MCM 37 hilos

a) $Ra = 0.0937\,\Omega$/cond/milla $= 0.0582\,\Omega/\text{km}$

$$Ra = 0.0582 \Omega /km$$

b) Reactancia inductiva de secuencia positiva

$$X_L = Xa + Xd$$

$Xa = 0.352 \Omega$ /cond/milla

$Xd = 0.2452 \Omega$ /cond/milla

$X_L = 0.352 + 0.2452 = 0.5972 \Omega$ /milla

$$X_L = 0.372 \Omega /km$$

c) Reactancia capacitiva secuencia positiva

$X_C = Xa' + Xd'$

$Xa = 0.1145$

$Xd' = 0.0863$

$X_C = 0.1145 + 0.0863 = 0.2008$ MΩ x milla

$X_C = 0.322$ MΩ x km

Ahora bien si tomamos en cuenta la longitud de cada uno de los conductores (ACSR y cobre)

ACSR = 8.206 km

Cobre = 3.080 km

Total 11.286 km vamos tener los siguientes valores para ACSR 1,113 MCM 54/19

$Ra = 0.0595 \times 8.206 = 0.490 \Omega$

$X_L = 0.350 \times 8.206 = 2.870 \Omega$

$X_C = \frac{0.306}{8.206} = 0.0373 = 37,300 \Omega$

Para cobre 700 MCM 37 hilos

$$Ra = 0.052 \times 3.08 = 0.18\,\Omega$$

$$X_L = 0.372 \times 3.08 = 1.145\,\Omega$$

$$X_L = \frac{0.322}{3.08} = 0.1045\ M = 104,500\,\Omega$$

Sumando estos valores obtenemos las características eléctricas para toda la línea

$$R = R_1 = R_2 = 0.489 + 0.180 = 0.669\,\Omega$$

$$X_L = X_{L_1} + X_{L_2} = 2.870 + 1.145 = 4.015\,\Omega$$

$$X_C = \frac{X_{C_1}\,X_{C_2}}{X_{C_1} + X_{C_2}} = \frac{3900 \times 10^6}{141,800} = 27,700\,\Omega$$

$$X_L = 4.015\,\Omega$$

$$X_C = 27,700\,\Omega$$

3.3.2. Cálculo de R, X_L y X_C por medio de fórmulas para ACSR 1,113 MCM 54/19

a) La resistencia es la misma que en el cálculo anterior

b) reactancia inductiva de secuencia positiva

$$X_L = 0.00289\ f \log \frac{DMG}{RMG} \text{ en } \Omega/km$$

DMG = 3.44 m calculado anteriormente

$$RMG_A = 1.296 \times 382 = 22.25 \text{ cm}$$

$$RMG_B = 1.296 \times 476 = 24.80 \text{ cm}$$

$$RMG = \sqrt[3]{22.25 \times 24.80 \times 22.25} = 23.08$$

sustituyendo estos valores en la fórmula y tomando en cuenta que son dos circuitos tenemos:

$$\frac{XL}{2} = 0.00289 \times 50 \log \frac{344}{23.08} = 0.1648\,\Omega/km$$

$$X_L = 0.3296 \Omega/km$$

c) reactancia capacitiva de secuencia positiva

$$X_C = \frac{6.596}{fk} \log \frac{DMG}{RMG} \text{ en } M\Omega \text{ x km}$$

$$RMG_A = RMG_C = \sqrt{1.6 \times 382} = 24.7 \text{ cm}$$

$$RMG_B = \sqrt{1.6 \times 476} = 27.6 \text{ cm}$$

$$RMG = \sqrt[3]{24.7^2 \times 27.6} = 25.6 \text{ cm}$$

sustituyendo valores tenemos:

$$\frac{X_C}{2} = \frac{6.596}{50} \log \frac{344}{25.6} = 0.1498$$

$$X_C = 0.2996 \text{ M}\Omega \text{x km}$$

Para cobre 700 MCM 37 hilos

Por el método directo de fórmula lo único que cambiaría para el cobre serían los radios medios geométricos dado que el cable de cobre tiene una sección menor.

a) Resistencia; esta característica ya está calculada por medio de las tablas.

b) Reactancia inductiva de secuencia positiva

$$X_L = 0.00289 \text{ f} \log \frac{DMG}{RMG}$$

$$RMG_A = RMG_C = \sqrt{0.971 \times 382} = 19.25$$

$$RMG_B = \sqrt{0.97 \times 476} = 21.44$$

$$RMG = \sqrt[3]{(19.25)^2 \times 21.44} = 19.95$$

sustituyendo los valores anteriores en la fórmula tenemos:

$$\frac{X_L}{2} = 0.00289 \times 50 \log \frac{344}{19.95} = 0.166$$ dado que son 2 circuitos

de donde $X_L = 0.332 \Omega/km$

c) Reactancia capacitiva de secuencia positiva

$$X_C = \frac{6.596}{f\,k} \log \frac{DMG}{RMG} \text{ en M}\Omega \text{ x km}$$

sustituyendo valores tenemos:

$$\frac{X_C}{2} = \frac{6.596}{50} \log \frac{344}{23} = 0.1505$$

$$X_C = 0.3010 \text{ M}\Omega \text{ x km}$$

tomando en cuenta la longitud de los dos tipos de conductores obtendremos las características en de cada uno de los conductores

1) Para ACSR 1,113 MCM 54/19

$$Ra = 0.0395 \times 8,206 = 0.489\,\Omega$$

$$X_L = 0.3296 \times 8.206 = 2.75\,\Omega$$

$$X_C = \frac{0.2996}{8.206} = 36,600\,\Omega$$

2) Para cobre 700 MCM 37 hilos

$$Ra = 0.0582 \times 3.080 = 0.18\,\Omega$$

$$X_L = 0.3320 \times 3.080 = 1.04\,\Omega$$

$$X_C = \frac{0.3010}{3.080} = 98,000\,\Omega$$

Sumando los valores anteriores tendremos las características totales de la línea

$$R = R_1 + R_2 = 0.489 + 0.18 = 0.669\,\Omega$$

$$R_L = X_{L_1} + X_{L_2} = 2.75 + 1.04 = 3.79\,\Omega$$

$$X = \frac{X_{C_1}\,X_{C_2}}{X_{C_1} + X_{C_2}} = \frac{3,680 \times 10^6}{137,300} = 26,750\,\Omega$$

$$X_L = 3.79\,\Omega$$

$$X_C = 26,750\,\Omega$$

3.3.3 Impedancia inductiva y reactancia capacitiva de secuencia cero por medio de las tablas:

Para ACSR 1,113 MCM 54/19

$$Zoo = Zoo_1 - \frac{(Zoo_{1g})^2}{Zoo_g}$$

para calcular estos términos necesitamos calcular antes los radios mediogeométricos y las distancias medias geométricas

$RMG_g = \sqrt{rg \times dgg'}$ donde $rg = 0.726r = 0.726 \times 0.4 = 0.290$ cm

$RMG_g = \sqrt{0.290 \times 476} = 11.75$ cm

$RMG_1 = \sqrt{RMG_C \times DMG_{CC}}$ donde $DMG_{CC} = 3.44$ m (calculado anteriormente)

$RMG_C = \sqrt[3]{r(DMG_{abc})^2}$ donde $r = 0.81 \times 1.6 = 1.296$ cm

$RMG_C = \sqrt[3]{1.296(242)^2} = 42.4$ cm

$RMG = \sqrt{42.4 \times 344} = 120.5$ cm

y de cálculos anteriores tenfamos:

$DMG_{cc} = 3.44$ m $= 11.3$ pies

$DMG_{gg} = 4.76$ m $= 15.6$ pies

$DMG_{gl} = \sqrt[6]{1.94 \times 4.68 \times 3.76 \times 6.08 \times 5.65 \times 7.10}$

$DMG_{gl} = 4.5$ m $= 14.75$ pies

con estas distancias medias geométricas entramos a las tablas características

$Zoo_1 = ra + re + j(Xa + Xe - 2Xd)$

$ra = 0.0957\,\Omega$/milla $\quad Xe = 2.434\,\Omega$/milla

$re = 0.2382\,\Omega$/milla $\quad Xd = 0.2452\,\Omega$/milla

$Xa = 0.317\,\Omega$/milla

sustituyendo estos valores en la fórmula

$$Zoo = 0.0957 + 0.2383 + j\,(0.317 + 2.434 - 2 \times 0.2452)$$

$$Zoo_l = 0.3340 + j\ 2.2606\,\Omega/\text{milla}$$

$$Zoo_{lg} = 0.2383 + j\ (2.434 - 3 \times 0.2721)$$

$$Zoo_{lg} = 0.2383 + j\ 1.6177\,\Omega/\text{milla}$$

$$Zoo_g = \frac{3}{2} Rg + Re + j\,(Xe + \frac{3}{2} Xa - \frac{3}{2} Xd)$$

para calcular Rg haremos uso de la fórmula que dice

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{donde } \rho = 0.15\,\Omega/m/mm^2$$

$$L = 11286 \text{ m}$$

$$A = 38.36 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{0.15 \times 11286}{38.36} = 44.1 \qquad R = \frac{44.1}{11.286} = 3.91\,\Omega/km$$

Corrigiendo este valor por efecto superficial o efecto Kelvin y consi derando una permeabilidad = 500 tendremos

$$X = 0.05013 \frac{f}{R}$$

$$X = 0.05013 \frac{50 \times 500}{3.91} = 4.01$$

para $X = 4.01$ $K = 1.64$

$$Re = KR$$

$$Re = 1.64 \times 3.41 = 6.41$$

$$Rg = 6.41\,\Omega/km = 10.3\,\Omega/\text{milla}$$

sustituyendo estos valores:

$$Zoo_g = \frac{3}{2}(10.3) + 0.2383 + j\ 2.434 + \frac{3}{2}(0.317) - \frac{3}{2}(0.2760)$$

$$Zoo_g = 15.69 + j\ 2.495\,\Omega/\text{milla}$$

de donde

$$Zoo = 0.3340 + j(2.2606) - \frac{(0.2383 + j\,1.6177)^2}{15.69 + j\,2.495}$$

$$(0.2383 + j\,1.6177)^2 = (1.63 \angle 81.6^o)^2 = 2.67 \angle 163.2^o$$

$$15.69 + j\,2.495 = 15.89 \angle 19.05^o$$

$$\frac{2.67 \angle 163.2^o}{15.89 \angle 9.05^o} = 0.168 \angle 154.15^o = -0.1575 + j\,0.0722$$

$$Zoo = 0.3340 + j\,2.2606 - (-0.1515 + j\,0.0722)$$

$$Zoo = 0.4855 + j\,2.1884\,\Omega/\text{milla}$$

$$Zoo = 0.3020 + j\,1.360\,\Omega/\text{km}$$

Para cobre 700 MCM 37 hilos

$ra = 0.0937\,\Omega/\text{milla}$

$re = 0.2383\,\Omega/\text{milla}$

$Xa = 0.352\,\Omega/\text{milla}$

$Xe = 2.434\,\Omega/\text{milla}$

$Xd = 0.2452$ para DMG_{cc}

$Xd = 0.2721$ para DMG_{gl}

$Xd = 0.2760$ para DMG_{gg}

sustituyendo valores en las fórmulas correspondientes:

$$Zoo_l = 0.2383 + j\,(2.434 - 3 \times 0.2721)$$

$$Zoo_{lg} = 0.2383 + j\,1.6177\,\Omega/\text{milla}$$

$$Zoo_g = \frac{3}{2}(10.3) + 0.2383 + j\;\; 2.434 + 1.5\,(0.352) - 1.5\,(.2760)$$

$$Zoog = 15.69 + j\,2.540$$

Pasando estos valores a forma polar

$$Zoo_{lg} = 1.63 \angle 81.6^o \qquad \frac{2.67 \angle 163.2^o}{15.90 \angle 9.18} = 0.168 \angle 154.02^o$$

$$(Zoo_{lg})^2 = 2.67 \angle 163.2^o \qquad = -0.151 + j\,0.0735$$

$$Zoo_g = 15.90 \angle 9.18^o$$

$$Zoo = 0.3320 + j\,2.2956 - (-0.151 + j\,0.0735)$$

$$Zoo = 0.4830 + j\,2.221\,\Omega/\text{milla}$$

$$Zoo = 0.3005 + j\,1.382\,\Omega/\text{km}$$

si multiplicamos los resultados de ACSR y cobre por 8.206 km y 3.08 km respectivamente obtendremos los totales

$$Zoo_{ACSR} = 2.48 + j\,11.17$$

$$Zoo_{cobre} = 0.9245 + j\,4.26$$

de manera que la Zoo total será la suma de estos dos

$$Zoo_t = Zoo_{ACSR} + Zoo\ cobre$$

$$Zoo_t = 3.4045 + j\,15.43$$

Reactancia capacitiva de secuencia cero

$$Xoo = Xa' + Xe' - 2\,X\,d \quad M\Omega x\ milla$$

Para ACSR 1,113 MCM y 54/19

$$Xa' = 0.1040\ M\Omega x\ milla$$

$$Xe' = 0.492\ M\Omega x\ milla$$

$$X'd = 0.0863\ M\Omega x\ milla$$

sustituyendo en la fórmula

$$Xoo = 0.1040 + 0.492 - 2\,(0.0863)$$

$$Xoo = 0.4234\ M\Omega\ x\ milla$$

$$Xoo = 0.680\ M\Omega\ x\ km$$

Para cobre 700 MCM

$Xa' = 0.1145$

$Xoo = 0.1145 + 0.4920 - 2 \times 0.0863$

$Xe'' = 0.4680$

$Xoo = 0.4339$ MΩ milla

$Xa' = 0.0863$

$Xoo = 0.6970$ MΩ km

$$Xoo_{ACSR} = \frac{0.680}{8.206} = 82,900$$

$$Xoo_{cobre} = \frac{0.6970}{3.08} = 226,000$$

$$Xoo_{total} = \frac{Xoo_{ACSR} \times Xoo_{cobre}}{Xoo_{ACSR} + Xoo_{cobre}} = \frac{187,000 \times 10^6}{308,900}$$

$$Xoo_{total} = 0.60 \text{ M}\Omega$$

3.3.4 <u>Zoo, Xoo por medio de fórmula</u>

Para ACSR 1,113 MCM 54/19

$$Zoo = Zoo_1 - \frac{(Zoo_{1g})^2}{Zoo_g}$$

donde $Zoo_1 = \frac{Rc}{2} + 0.002964\, f + j\, 0.008676\, f \log \frac{Dc}{RMG_1}\ \Omega/km$

donde $Rc = 0.0595\ \Omega/km$

$De = 658 \frac{100}{50} = 930.5$ M

$RMG_1 = 1.20$ m

sustituyendo estos valores en la fórmula de Zoo_1 tenemos

$$Zoo_1 = \frac{0.0595}{2} + 0.002964 \times 50 + j\, 0.008676 \times 50 \log \frac{930}{1.20}$$

$$Zoo_1 = 0.1779 + j\, 1.125\ \Omega/km$$

La impedancia inductiva de secuencia cero propia de dos cables de guarda es:

$$Zoo_g = \frac{3}{2} Rg + 0.002964\, f + j\, 0.008676\, f \log \frac{De}{RMG_g}\ \Omega/km$$

donde: $Rg = 6.41\ \Omega/km$/(ya calculado anteriormente)

$RMG_g = 11.75$ cm

$De = 930.5$ m y sustituyendo valores tenemos:

$$Zoo_g = 1.5\,(6.41) + 0.1482 + j\,1.568$$

$$Zoo_g = 9.7882 + j\,1.568\,\Omega/km$$

$$Zoog = 9.92\ \underline{|9.1^o}$$

$$Zoo_{lg} = 0.002964\,f + j\,0.008676\,f \log_{10} \frac{De}{DMG_{lg}}\ \Omega/km$$

donde:

$De = 930.5$ m

$DMG_{lg} = 4.5$ m

$$Zoo_{lg} = 0.002964 \times 50 + j\,0.008676 \times 50 \log \frac{930.5}{4.5}$$

$$Zoo_{lg} = 0.1482 + j\,0.947$$

$$Zoo_{lg} = 0.958\ \underline{|81.1^o} \quad (Zoo_{lg})^2 = 0.917\ \underline{|162.2^o}$$

sustituyendo valores tenemos:

$$Zoo = 0.1779 + j\,1.125 - \frac{0.917\ \underline{|162.2^o}}{9.92\ \underline{|9.1^o}}$$

$Zoo_{ACSR} = 0.2604 + j\,1.083\,\Omega/km$ multiplicando por 8.206 km

$$Zoo_{ACSR} = 2.14 + j\,8.89$$

Para cobre 700 MCM 37 hilos

$$Zoo_1 = \frac{Rc}{2}\,0.002964\,f + j\,0.008676\,f \log \frac{De}{RMG_1}\ \Omega/km$$

$$Zoo_1 = \frac{0.0582}{2} \times 0.1482 + j\,1.125 \quad \text{dado que } Rc = 0.0582$$

$$Zoo_1 = 0.1773 + j\,1.125$$

$Zoo_g =$ será la misma que para el ACSR

$Zoo_{lg} =$ la misma que para ACSR

de donde

$$Zoo = 0.1773 + j\,1.125 - (-0.0825 + j\,0.0418)$$

$$Zoo = 0.2598 + j\,1.083\,\Omega/km$$ y multiplicando por 3.08 km

$$Zoo = 0.80 + j\,3.34\,\Omega/fase$$

ahora bien $Zoo_{total} = Zoo_{ACSR} + Zoo_{cobre}$

$$Zoo_{tot} = 2.94 + j\,12.23$$

Cálculo de la reactancia capacitiva de secuencia cero.

Para efectuar este cálculo tenemos la fórmula siguiente:

$$Xoo = \frac{6.596}{f}\,3\log_{10}\frac{\sqrt[9]{daa' \times dbb' \times dcc' \times d^2ab' \times d2ac' \times d^2bc'}}{\sqrt[3]{r\,\sqrt[3]{(dab \times dac \times dbc)^2}}}$$

El denominador del logaritmo corresponde al radio medio geométrico del conductor ficticio equivalente. Esto ya lo habíamos calculado obteniendo un valor de 1.205 m.

Para calcular el numerador del logaritmo necesitamos calcular las distancias de los conductores a sus imágenes, y para ésto hay que calcular la altura media. Así pues:

$$h = hs - 0.70\,f$$

donde hs = altura del conductor en el punto de soporte

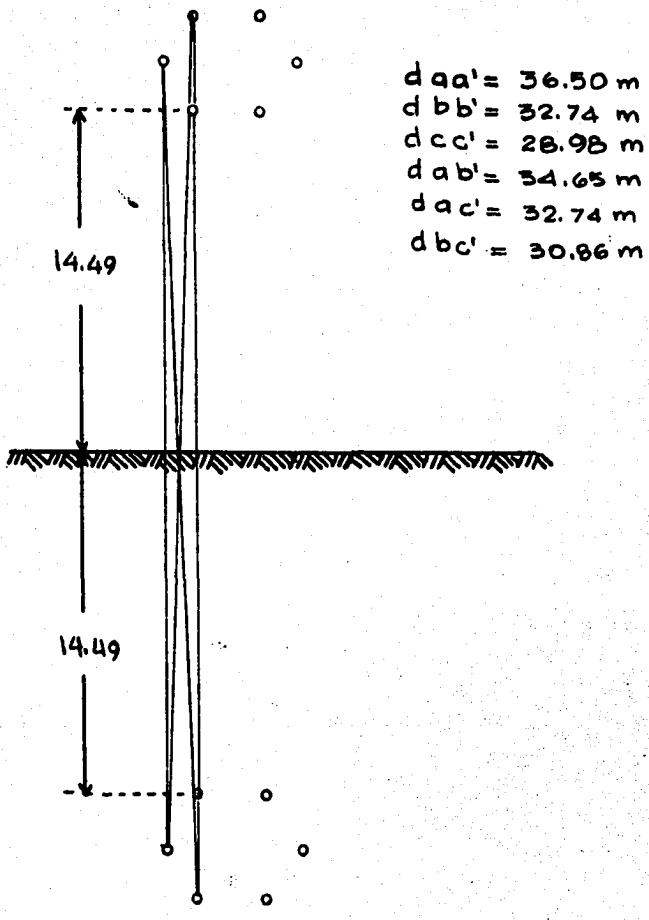
f = flecha del conductor

si hs = 26.11

y f = 16.60 de donde H = 26.11 - 0.7 x 16.60 = 14.49 mts

Con esta altura podemos ahora calcular las distancias entre los conductores y sus imágenes para poder entrar a la fórmula anteriormente expuesta y así calcular la reactancia capacitiva de secuen

cia cero



El numerador del logaritmo nos quedaría así:

$$\sqrt[9]{36.50 \times (32.74)^3 \times 28.98 \times (34.65)^2 \times (30.86)^2}$$

haciendo operaciones, el valor de esta raiz resulta 32.6 m

sustituyendo ahora estos valores en la fórmula de Xoo tenemos:

$$Xoo = \frac{6.596}{50} \times 3 \log \frac{32.6}{1.205}$$

$$Xoo = 0.569 \text{ M} \quad \times \text{ km}$$

$$Xoo = \frac{0.569}{11,286} = 0.505 \text{ M}\Omega$$

IV. REGULACION Y EFICIENCIA DE LA LINEA

Las líneas se dividen en tres tipos, tomando en cuenta su longitud y su voltaje, los tres tipos son

líneas cortas

líneas medias

líneas largas

La importancia de la corriente capacitiva de una línea de transmisión, en relación con la corriente que toma la carga conectada, depende de la longitud de la línea y del voltaje de transmisión para una frecuencia determinada.

En líneas cortas ésto no es más de 60 km de longitud y de voltajes no mayores de 40 KV aproximadamente, la capacitancia de la línea puede generalmente despreciarse y entonces cada fase de la línea puede representarse por una impedancia en serie igual a la impedancia por unidad de longitud multiplicada por la longitud de la línea.

En las líneas de longitud media, es decir, longitud comprendida entre 60 y 250 km y de voltaje no mayor que 220 KVaproximadamente, la capacitancia puede considerarse concentrada en uno o en varios puntos de la línea.

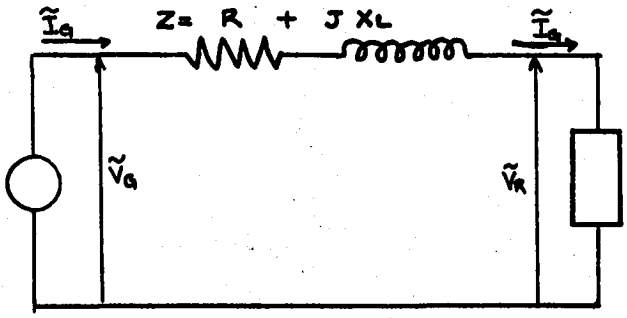
En líneas largas, como son las de más de 250 km y más de 220 KV es necesario considerar las constantes distribuidas a lo lar-

go de la línea.

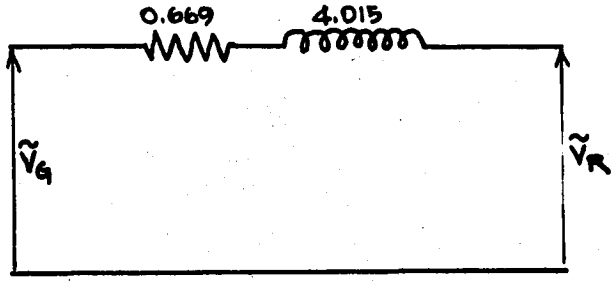
En nuestro proyecto la línea tiene 11.286 km de longitud, de manera que puede ser considerada como línea corta; sin embargo como transmite un voltaje de 85 KV (línea media), la consideraremos también como línea media y compararemos los cálculos para notar la diferencia.

4.1. Considerándola como línea corta:

Para esto dibujemos el siguiente diagrama de la línea:



Si substituimos los valores que obtuvimos en este diagrama tendremos:



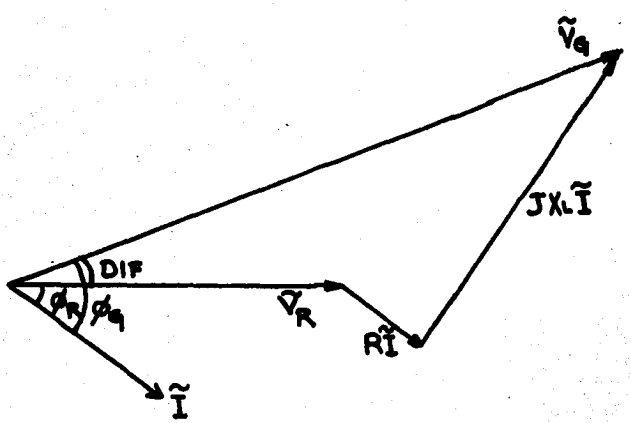
aquí tenemos que agregar los siguientes datos de la línea:

V_G = 87 KV entre hilos

P_G = 150 MW

Q_G = 50 MVARS
f.p. atrás

El voltaje al neutro en el extremo generador de la línea es igual al voltaje al neutro en el extremo receptor de la línea más la caída de voltaje debida a la circulación de la corriente I por la impedancia en serie de la línea Z. Esta caída de voltaje puede descomponerse en dos componentes: una en fase con la corriente, debida a la resistencia y otra noventa grados adelantada con respecto a la corriente, debido a la reactancia inductiva. De manera que el diagrama fasorial de la línea corta nos queda:



$Z = 0.669 + j\ 4.015$

$Z = 4.07 \angle 80.6^{o}$

$V_{Gn} = \frac{87}{\sqrt{3}} = 50,000 \text{ volts} = 50 \angle 0^{o}$

$$f.p. = \cos \theta$$

$$= \tan^{-1} \frac{50}{150} = -18.4^{o}$$

$$f.p. = 0.948 \text{ atrás}$$

$$I_G = \frac{P_G}{3\ V_G} - j\ \frac{Q_G}{87\ \ 3}$$

$$I_G = \frac{150,000}{87\sqrt{3}} - j\ \frac{50,000}{87\sqrt{3}}$$

$$I_G = 995 - j\ 331.7 = 1050\ \underline{|-18.4^{o}}$$

$$V_R = V_G - I_Z$$

$$I_Z = 1050\ \underline{|-18.4^{o}} \times 4.07\ \underline{|80.6^{o}} = 4280\ \underline{|62.2}$$

$$V_R = 50,000 - 2000 - j\ 3780$$

$$V_R = 48,000 - j\ 3780$$

$$V_R = 48,010\ \underline{|-4.53^{o}}$$

Regulación:

$$\%\ Reg = \frac{V_G - V_R}{V_R} \times 100$$

$$\%\ Reg = \frac{50,000 - 48010}{48010} \times 100 = 4.14\%$$

$$\%\ Reg = 4.14\%$$

Eficiencia de la línea

$$= \frac{P_{3\phi}\ R}{P_{3\phi}\ G} \times 100$$

$$S = P + j\,Q = V_R\, I^*$$

$$S = 48010\ \underline{|-4.53} \times 1050\ \underline{|13.87^{o}}$$

$$S_{1\phi} = 49,800 + j\ 8,200$$

$$S_{3\phi} = 149,400 + j\ 24,600$$

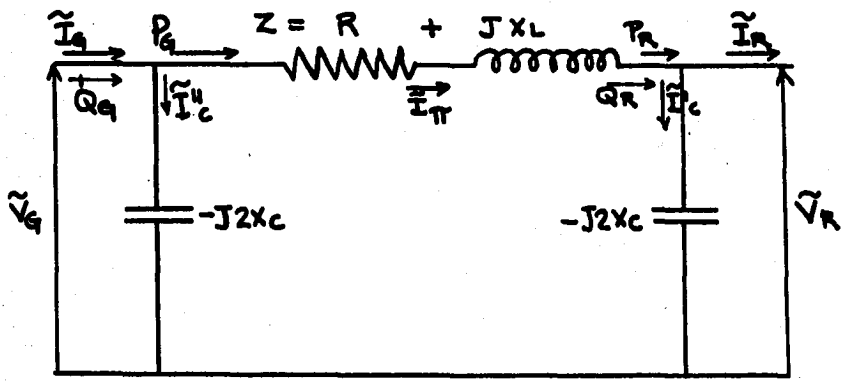
$$= \frac{149.4}{150} = 99.5\%$$

4.2 Considerándola como línea media

En las líneas de transmisión de longitud media no se puede, en general despreciar la capacitancia al neutro de los conductores sin cometer un error excesivo, pero se tiene una buena aproximación si se representa la línea mediante un circuito equivalente monofásico, en el que la capacitancia al neutro de una fase se considere concentrada en uno o dos puntos.

La resistencia de aislamuento puede, en general considerarse como infinita, especialmente en líneas aéreas.

El circuito II equivalente de una línea media es el siguiente:

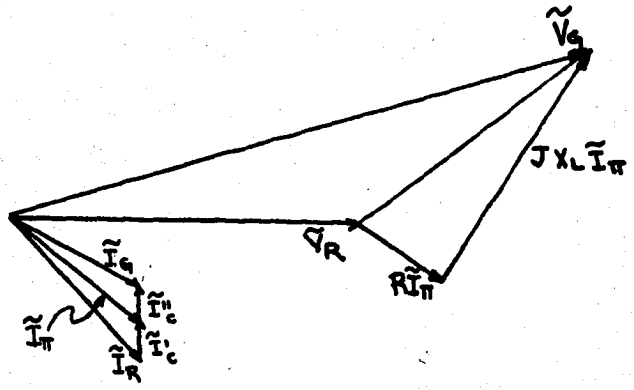


En el circuito equivalente II se define como dirección positiva de las corrientes, la dirección entrando en la línea en el extremo generador y saliendo de la línea en el extremo receptor.

La dirección positiva de la circulación de potencia real y reactiva en cada extremo del circuito coincide con la dirección positiva

de la corriente correspondiente.

El diagrama fasorial correspondiente al circuito II equivalente queda:



Pasemos a calcular la línea de nuestro proyecto con los siguientes datos:

$V_G = 50,000 \angle 0^o$

$P_{G_{3\phi}} = 150$ MW

$Q_{G_{3\phi}} = 50$ MVARS

$2X_C = -j\ 27,308 \times 2 = -j\ 54616\ \Omega$

I_G será la misma que para la línea corta o sea $1,050 \angle -19.4^o$

f.p.g = 0.948 atrás

$I_G = I_C + I_{II}$

donde $I''_C = \dfrac{V_G}{Z_G} = \dfrac{50,000 \angle 0^o}{54,616 \angle 90^o} = 0.915\ \ 90^o$ amps

$I_{II} = I_G - I''_C$

$I_{II} = 995 - j\ 331.7 - j\ .915$

$$I_{II} = 995 - j\,332.615 = 1050 \angle -18.45^{o}$$

$$V_R = V_G - V_{II} \quad \text{DONDE}$$

$$V_{II} = I_{II}\, Z$$

$$V_{II} = 1050 \angle -18.45^{o} \times 4.07 \angle 80.6^{o} = 4280 \angle 62.15^{o}$$

$$V_{II} = 2010 + j\,3770 \text{ volts}$$

$$V_R = 50{,}000 - 2010 - j\,3770$$

$$V_R = 47{,}990 - j\,3{,}770 = 48{,}000 \angle -4.5^{o}$$

$$I_R = I_{II} - I'_C \quad \text{donde}$$

$$I'_C = \frac{V_R}{Z_G} = \frac{48{,}000 \angle -4.5^{o}}{54{,}616 \angle -90^{o}} = 0.88 \angle 85.5^{o}$$

$$I'_C = 0.0690 - j\,0.875 \text{ amps}$$

$$I_R = 995 - j\,332.6 - 0.069 - j\,0.875$$

$$I_R = 994{,}931 - j\,333.475$$

$$I_R = 1048 \angle -18.47^{o}$$

Regulación de voltaje

$$Io = \frac{V_G}{R + j\,X_L - j\,2\,X_C}$$

$$Io = \frac{50{,}000 \angle 0^{o}}{0.669 + j\,4.015 - j\,54616} =$$

$$Io = 0.915 \angle 90^{o} \text{ amp}$$

$$V_{Ro} = -j\,2\,X_C\, Io = 54616 \angle 90^{o} \times .915 \angle 90^{o} = 50{,}000 \angle 0^{o}$$

$$V_{Ro} = 50{,}000 \angle 0^{o}$$

$$Reg = \frac{V_{Ro} - V_R}{V_R}$$

$$\%\ Reg = \frac{50{,}000 - 48000}{48000} = 4.17\%$$

$$\% \text{ Reg} = 4.17\%$$

Eficiencia

$$S = P + jQ = V_R I_R$$

$$S = 48000 \angle -4.5^{o} \times 1048 \angle 18.47^{o}$$

$$S = 50,400 \angle 13.97^{o}$$

$$S = 48900 + j\,12\,170$$

$$= \frac{48900 \times 3}{150,000} = 98\%$$

V. PROGRAMA PARA COMPUTADORA

5.1 Definición y características generales del programa

El siguiente programa sirve para calcular las características eléctricas de una línea de transmisión, es decir:

a) Reactancia inductiva de secuencia positiva Xl

b) Reactancia capacitiva de secuencia positiva Xc

c) Impedancia inductiva de secuencia cero Zoo

d) Reactancia capacitiva de secuencia cero Xoo

así como también la regulación de voltaje y la eficiencia de la línea

Este programa no calcula la resistencia de la línea puesto que generalmente es bastante fácil calcularla, sobre todo si se hace por medio de las tablas de características eléctricas, en donde vienen tabulados los valres en /km de la resistencia de varios tipos de conductores diferentes (ACSR y Cobre), para los tamaños más usados, (en C.M.), de los mismos. De manera que bastará con tomar la resistencia en /km del conductor empleado y multiplicarlo por la longitud de la línea para tener la resistencia total. - Además, de esta manera si queremos calcular la resistencia por medio de la computadora, tendríamos que hacer uso de la fórmula $R = \frac{L}{A}$ en cuyo caso también tendríamos que buscar en unas tablas el valor de para darlo como dato a la máquina.

El programa puede calcular líneas cortas y líneas medias, es decir, según la definición que se dió anteriormente hasta 250 km de longitud y 220 KV, o sea que no incluye líneas largas, pero aún así tiene un rango bastante amplio de aplicación, sobre todo en nuestro país. En el caso que se tenga una línea larga a este mismo programa se le puede hacer una ampliación y puede así calcular también líneas largas.

También acepta este programa que la línea de transmisión tenga 1 o 2 circuitos y puede tener uno o más conductores por fase (hasta 4) de manera pues, que el programa es bastante general.

Por lo regular en líneas cortas se usa un solo material, excepción hecha de cuando la línea pasa por un lugar donde debido a las condiciones propias del mismo, se necesita usar otro material. Como caso concreto está nuestro proyecto, puesto que la línea de 85 KV que viene de Cerro Gordo a Valle de México pasa por una zona donde hay vapores corrosivos. Por tal razón la línea tiene que usar cobre en ese tramo que es bastante corto. Así pues, generalmente los tramos donde se usa material distinto son cortos. Así que este programa está diseñado para líneas de un mismo tipo de conductor.

Generalmente para cuestiones de cálculo de las características eléctricas no es mucha la diferencia y si los cables son más o menos del mismo diámetro exterior sus características serán muy similares. Pero si se estima que los diferentes conductores que lleva

la línea son de características bastante diferentes se puede bisectar el programa y primero meter los datos de un conductor, obtener en la computadora los resultados, luego meter los datos del otro conductor y sumar estos resultados a los ya obtenidos y con estos datos integrados al programa obtener la regulación de voltaje y la eficiencia de la línea.

5.2. Definición de los nombres de variables usados en el programa.

A continuación listo los nombres de las variables que se usaron en este programa:

FAC = factor de corrección según conductor para encontrar el radio medio geométrico (ver tablas).

RC = resistencia del conductor en /km

NCI = número de circuitos

NCF = número de conductores por fase

ALONG = longitud de la línea en km

POTKWG = potencia generada real en KW

POTRG = potencia reactiva generada en KVAR

TIPO = si es trifásica o monofásica

VKVGH = voltaje de transmisión generado entre hilos en KV

F = frecuencia de transmisión en c.p.s.

CG = cable(s) de guarda (1, 2 o 0)

RG = resistencia del cable de guarda en

RO = resistividad del terreno /m/mm^2

RT = resistencia total de la línea en

D = distancia entre conductores por fase en cm

RE = radio exterior del conductor en cm

ERRE = radio medo geométrico del conductor en cm

RD = radio del circuito en el cual estarían contenidos los distintos conductores por fase en cm

RMG = radio medio geométrico por fase en cm

RMGT = radio medio geométrico total en cm

DEC(I) = distancia entre circuitos en cm

DEF(I) = distancia entre fases en cm

RMGG = radio medio geométrico del cable de guarda en cm

RCG = radio exterior del cable de guarda en cm

FCG = factor para el cable de guarda

DECG = distancia entre los cables de guarda en cm

DE = distancia equivalente de regreso por tierra

DECYCG(I) = distancia entre conductores y cables de guarda en cm

HMG = altura media geométrica de los conductores y sus imágenes, en cm.

5.3. Cómo usar el programa

Para usar el siguiente programa deben de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1o. como dijimos, en principio está programado para calcular las

características de una línea de transmisión que lleva un mismo tipo de conductor; sin embargo, si la línea tiene dos conductores distintos y éstos tienen características muy diferentes, se deberá proceder de la siguiente manera: meter los datos del primer conductor con su longitud correspondiente. Obtener así la R, Xl y Xc de ese conductor ; luego meter los datos del segundo conductor con su longitud correspondiente y obtener R, Xl y Xc de ese conductor y bastará sumarlas para obtener las características totales. Así

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$X_{l_T} = X_{l_1} + X_{l_2}$$

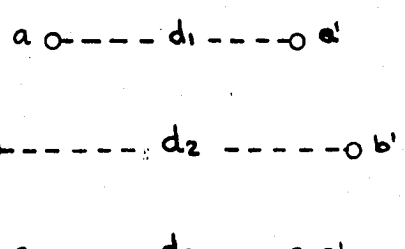
$$Xc_T = Xc_1 + Xc_2$$

con RT, X_{l_T} y Xc_T calcularemos la regulación y la eficiencia.

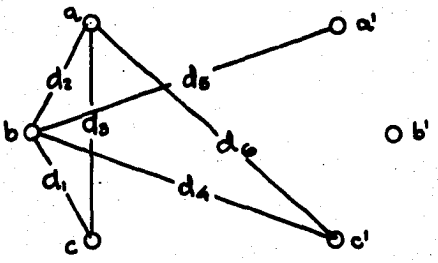
Debe tenerse cuidado al meter los datos en el programa que todos vayan en sus unidades correspondientes, por ejemplo todas las distancias deberán meterse en cm, con el fin de que así sean válidas todas las fórmulas.

Para las distancias entre circuitos y entre fases se darán así:

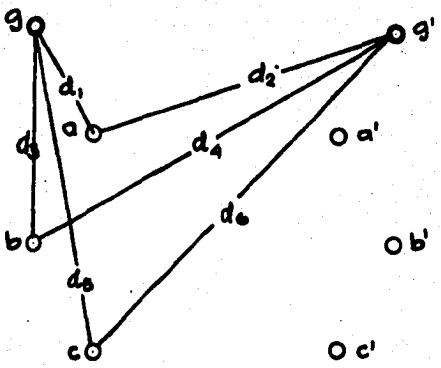
DEC(I), I = 1,3 teniendo dos circuitos trifásicos tendremos:



DEF(I) I = 1, 6 si tenemos dos circuitos trifásicos



DECYCG(I) I = 3 o 6



5.4. LISTADO DEL PROGRAMA

```
PAGE    001

H       NAME LINEAS
H       EQUIP=PRINTE,CANDME;
H       SINGLEALL;
C ESTE PROGRAMA SE INTENTA PARA EL CALCULO DE LAS CARACTERISTICAS
C ELECTRICAS DE UNA LINEA DE TRASMISION.
C DEFINICION DE LAS FUNCIONES A USAR.
        PRODRF ( A,B,C,D) =  A*C - B*D
        PRODIF ( A,B,C,D)=A*D+C*B
        COORF (A,B,C,D) =(A*C+B*D)/(C**2.0+D**2.0)
        COCIF (A,B,C,D) =(B*C-A*D)/(C**2.0+D**2.0)
        SUMRF  ( A,B)       =  A + C
        SUMIF  ( B,D)       =  B + D
        RESRF  ( A,B)       =  A - C
        RESIF  ( B,D)       =  B - D
        DIMENSION  DEC(3),DEF(3),DECYCG(6),TERM(3),DVI(3)
        READ 100 ,FAC,RC,ALONG,POTKWG,POTRG,TIPO,VKVGH,F,RO,CG,RG
        PRINT 100 ,FAC,RC,ALONG,POTKWG,POTRG,TIPO,VKVGH,F,RO,CG,RG
        READ 101 ,NCI,NCF
        PRINT 101 ,NCI,NCF
        RT = RC * ALONG
        READ 102 , D,RE
        PRINT 102 , D,RE
        ERRE = FAC * RE
        GO TO (10,11,12,11),NCF
   10   RMG =ERRE
        GO TO 14
   12   RD = D/1.732
        GO TO 13
   11   RD = D/2.0
   13   FCC = NCF
        RMG = (FCC * ERRE * RD **(FCC-1.0)) **(1.0/ FCC)
   14   GO TO (16,15),NCI
   15   READ 103,(DEC(I),I=1,3)
        PRINT 103,(DEC(I),I=1,3)
        VI =1.0
        TV =1.0
        DO 88 I=1,3
        TERM(I) = SURIF (RMG * DEC(I))
        VI = VI * TERM (I)
        E=1.0/(2.0*FCC)
        DVI(I)=TERM(I)/(FAC**E)
        PRINT 300,DVI(I)
   88   TV = TV + DVI(I)
        RMG = VI**(1.0/3.0)
        RMGE = TV ** (1.0/3.0)
        PRINT 301,RMGE
        GO TO 17
   16   RMGE = RE
   17   IF (NCI-2) 19,18,19
   18   K = 6
        GO TO 20
   19   K = 3
   20   READ 104,(DEF(I),I=1,K)
        PRINT 104,(DEF(I),I=1,K)
```

PAGE 002

```
      HG=1.0
      GS=K
      DO 22 I=1,K
      HG=HG*DEF(I)
      IF(I-3) 22,21,22
   21 RMGC=(ERRE*(HG**(.66667))**.33334
      PRINT 302,RMGC
   22 CONTINUE
      DMG = HG **(1./GS)
      XL=0.00289*0.4343*F*LOGF(DMG/RMG)*NCI*ALONG
      XC = 2.86464 * LOGF(DMG/RMGE)*NCI*1000000.0/(ALONG*F)
      DE=65800.*SQRTF(RC/F)
      RMG1=SQRTF(RMGC*DMG)
      Z00LR=RC/2.*0.002964*F
      Z00LI=0.008076*0.4343*F*LOGF(DE/RMG1)
      IF(CG-1) 23,24,25
   23 Z00R=Z00LR
      Z00I=Z00LI
      GO TO 27
   24 READ 105,RCG,FCG
      PRINT 105,RCG,FCG
      RMGG=RCG*FCG
      GO TO 26
   25 READ 106,RCG,FCG,DECG
      PRINT 106,RCG,FCG,DECG
      RMGG1=RCG*FCG
      RMGG=SQRTF(RMGG1*DECG)
   26 Z00GR=1.5*RG+0.002964*F
      Z00GI=0.008076*0.4343*F*LOGF(DE/RMGG)
      IMAX=3*CG
      READ 107,(DECYCG(I),I=1,IMAX)
      PRINT 107,(DECYCG(I),I=1,IMAX)
      DMGLG=1.0
      DO 80 K=1,IMAX
   80 DMGLG=DMGLG*DECYCG(K)
      AA=IMAX
      EP=1./AA
      DMGLG=(DMGLG)**EP
      Z00LGR=0.002964*F
      Z00LGI=0.008076*0.4343*F*LOGF(DE/DMGLG)
      ZLG2R=PRODRF(Z00LGR,Z00LGI,Z00LGR,Z00LGI)
      ZLG2I=PRODIF(Z00LGR,Z00LGI,Z00LGR,Z00LGI)
      INZR=COCRF(ZLG2R,ZLG2I,Z00GR,Z00GI)
      INZI=COCIF(ZLG2R,ZLG2I,Z00GR,Z00GI)
      Z00R=RESRF(Z00LR,INZR)*ALONG
      Z00I=RESIF(Z00LI,INZI)*ALONG
   27 READ 108,HMG
      PRINT 108,HMG
      X00=((6.596*3.0*0.4343)/F)*LOGF(HMG/RMG1)
      VKVGN=VKVGH/1.732
      AIGR=POTKMG/(1./32*VKVGH)
      AIGI=-POTMG/(1./32*VKVGH)
      ZR=RT
      ZI=XL
```

CENTRO DE CALCULO ELECTRO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO
U.N.A.M.

PAGE 003

```
      IF(ALONG-60) 28,35,35
   28 QUAD=-PRODRF(AIGR,AIGI,ZR,ZI)
      ALUPE=-PRODIF(AIGR,AIGI,ZR,ZI)
      VRR = SUMRF(VKVGN,QUAD)
      VRI = SUMIF(0.0,ALUPE)
      VRMOD=SQRTF(VRR**2.+VRI**2.)
      REG=(VKVGN-VRMOD)/VRMOD
      SR=PRODRF(VRR,VRI,AIGR,-AIGI)
   29 IF(TIPO-1) 30,31,30
   30 EFI=3.*SR/POTKWG
      PRINT 800,HT,ENRE,RMG,TV,VI,RMG,RMGE,
     1HG,RMGC,DMG,DE,RMG1,Z00LR,Z00LI,RM6G1,RMGC,Z00GR,Z00GI,
     2DMGLG,Z00LGR,Z00LGI,ZLG2R,ZLG2I,TNZR,TNZI,AIGR,AIGI,ZR,ZI,
     3QUAD,ALUPE,VRR,VRI,VRMOD,SR
      PRINT 801, (( IENR(I), OVI (I)), I=1,170)
      GO TO 32
   31 EFI=SR/POTKWG
   32 PRINT 600
  600 FORMAT(1H1,///,49X,22HANALISIS DE RESULTADOS,////,
     1 5X,10HREACTANCIA,7X,10HREACTANCIA,8X, 21HIMPEDANCIA INDUCTIVA,
     211X,10HREACTANCIA,7X,10HREGULACION,7X,10HEFICIENCIA,
     3 5X,9HINDUCTIVA,8X,10HCAPACITIVA,10X,16HSECUENCIA  CERO,11X,
     4 14HCAPACITIVA XOO //)
      PRINT 201,XL,XC,Z00R,Z00I,XOO,REG,EFI
      CALL EXIT
   35 ZC=-2.*XC
      BRIC=VKVGN/ZC
      PIIR=RESRF(AIGR,0.)
      PIII=RESIF(AIGI,BRIC)
      VPIR=PRODRF(PIIR,PIII,ZR,ZI)
      VPII=PRODIF(PIIR,PIII,ZR,ZI)
      VRR=RESRF(VKVGN,VPIR)
      VRI=RESIF(0.,VPII)
      PICR=COCRF(VRR,VRI,0.,ZC)
      PICI=COCIF(VRR,VRI,0.,ZC)
      RIR=RESRF(PIIR,PICR)
      RII=RESIF(PIII,PICI)
      SR=PRODRF(VRR,VRI,RIR,-RII)
      ZV=XL-(2.*XC)
      OIO=VKVGN/ZV
      VRO=2*XC*OIO
      VRMOD=SQRTF(VRR**2.+VRI**2.)
      REG=(VRO-VRMOD)/VRMOD
      GO TO 29
  100 FORMAT (4E18.8)
  101 FORMAT(2X,2I1)
  102 FORMAT(2X,2F6.3)
  103 FORMAT(2X,3F6.3)
  104 FORMAT(2X,6F5.3)
  105 FORMAT(2X,2F5.3)
  106 FORMAT(2X,3F5.3)
  107 FORMAT(2X,6F5.3)
  108 FORMAT(2X,F8.3)
  201 FORMAT(3E17.8,1X,2H+J,F9.6,4X,E16.8,2X,2E16.8)
```

```
PAGE    004

  300 FORMAT(2X,E15.8)
  301 FORMAT(2X,E15.8)
  302 FORMAT(2X,E15.8)
  800 FORMAT (2X, E15.8)
  801 FORMAT ( 2(2X, E15.8))
      END
```

CENTRO DE CALCULO ELECTRO

U.N.A.M.

5.5. RESULTADOS DEL PROGRAMA

```
 .60999994.+00     .59499979.-01     .11286011.+02     .15000013.+09
 .50000000.+00     .30000000.+01     .87000000.+05     .50000000.+02
 .10000000.+03     .20000000.+01     .64099998.+01
 R1
 0.000 1.040
 382.00476.00382.00
 .22526611.+02
 .25145935.+02
 .22526611.+02
 .23367920.+02
 194.0194.0376.0460.0468.0536.0
 .42679077.+02
 0.4000.726476.0
 194.0468.0376.0906.0565.0710.0
 3240.0
 .67151737.+00
 .13283997.+01
 .23367920.+02
 .12760266.+05
 .12760266.+05
 .23367920.+02
 .23367920.+02
 .16612998.+16
 .42679077.+02
 .34414502.+03
 .93085250.+05
 .12119312.+03
 .17794991.+00
 .12516441.+01
 .29040003.+00
 .11757141.+02
 .97632141.+01
 .16911659.+01
 .45019946.+03
 .14820004.+00
 .10044060.+01
-.98686790.+00
 .29770613.+00
-.93007684.+01
 .46603282.-01
 .97546094.+03
-.33187831.+03
 .67151737.+00
 .38100586.+01
-.19327246.+04
-.35699414.+04
 .48298250.+05
-.35699414.+04
 .48430000.+05
 .49263616.+08
 .22526611.+02     .22526611.+02
 .25145935.+02     .25145935.+02
 .22526611.+02     .22526611.+02
```

CENTRO DE CALCULO ELECTRO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
U.N.A.M.

ANALISIS DE RESULTADOS

REACTANCIA INDUCTIVA	REACTANCIA CAPACITIVA	IMPEDANCIA SECUENCIA	INDUCTIVA CERO	REACTANCIA CAPACITIVA X00	REGULACION	EFICIENCIA
.38100586E+01	.27308219E+05	.30580292E+01	.J13.6000098	.56584072E+00	.3718764E-01	.98527145E+00

CENTRO DE CALCULO ELECTRONICO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEXICO

U.N.A.M.

VI. COMPARACION DE VALORES Y CONCLUSION

Creo que ha sido de gran utilidad para mí haber realizado este trabajo, pues ahora hemos llevado a la práctica, diseñando una línea de transmisión, muchos de los conceptos que aprendimos en la Universidad a lo largo de nuestra carrera. No solamente hemos aplicado los conocimientos que ya teníamos, sino que hemos adquirido nuevos conceptos y conocimientos.

Creo que la manera como se ha llevado este seminario es bastante efectiva pues proporciona a la vez trabajo de equipo como también pensamiento y trabajo individual, que en resumen es una de las cosas que necesita aprender todo profesionista: trabajar en equipo y a la vez tener individualidad de pensamiento.

Entre las cosas más interesantes de mi trabajo está el programa para computadora y el contacto y conocimientos que adquirí acerca de computadoras. Nadie que tenga un poco de visión deja de ver la magnitud y el alcance de aplicaciones que tienen las computadoras en el mundo del futuro y ya no digamos muy lejano. En nuestra propia generación vamos a ver maravillas acerca de los trabajos y empleos que tomarán las computadoras.

Viendo el cuadro comparativo de valores vemos que las diferencias en los resultados de los cálculos por diferentes métodos de cálculo no son muy significantes.

Notamos ligeramente unas pequeñas diferencias entre los cálculos hechos por medio de las fórmulas y los efectuados por medio de las tablas. Aquí cabe decir que los efectuados por medio de las fórmulas son más exactos puesto que toman en cuenta las impedancias y reactancias mutuas entre los circuitos.

Con respecto a los cálculos del diseño original que en este proyecto se modificó las diferencias de características eléctricas son pequeñas sin embargo gracias a los nuevos métodos para determinar el nivel básico de aislamiento (BIL) se pueden lograr mejores diseños de las torres disminuyendo éstas en tamaño, lo cual representa un considerable ahorro de dinero.

Respecto al programa de la computadora, como ya dije anteriormente, creo que es la tendencia general actual de usar computadoras en todo trabajo donde se requieran cálculos más o menos complicados, y la rapidez de trabajo de las computadoras es fantástica.

Un programa se puede refinar tanto como uno quiera y puede calcular cualquier cosa que se le programe. Mi programa es una cosa sencilla; sin embargo, sirve bastante bien para efectuar los cálculos para los cuales fue diseñado.

La rapidez del trabajo desarrollado en las computadoras paga bien las horas de trabajo invertidas en la programación de los trabajos a realizar.

CUADRO COMPARATIVO DE VALORES

CARACTERISTICA ELECTRICA	POR MEDIO DE TABLAS	POR MEDIO DE FORMULAS	CON COMPUTADORA
R	0.669 Ω	0.669 Ω	0.6715 Ω
X_C	27,700 Ω	26,750 Ω	27,308 Ω
Zoo	3.40 + j 15.43 Ω	2.94 + j 12.23 Ω	3.05 + j 13.60 Ω
Xoo	0.60 MΩ	0.505 MΩ	0.503 MΩ
X_L	4.015 Ω	3.79 Ω	3.81 Ω

	REGULACION	EFICIENCIA
Como línea corta	4.14%	94.5%
Como línea media	4.17%	98.0%
Con computadora	3.71%	98.52%

B I B L I O G R A F I A

1.- Redes Electricas vols. I y II

Ing. Jacinto Viqueira Landa

2.- Electrical Trnasmisión and distribution reference book Westinghouse.

3.- Electrical Power Transmision

L. F. Woodruff

4.- Reglamento de obras e Instalaciones Electricas

5.- Datos Electricos para lineas de alta tensión

Ragnar Engstrom y Gunnar Jancke.