



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE COMPONENTES ELÉCTRICOS DE  
POTENCIA CON MATLAB**

TESIS

Que para obtener el título de  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A

ERNESTO LEAL ARELLANO

DI RECTOR DE TESIS

ING. TÉLLEZ LENDECH JOAQUÍN JORGE



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## OBJETIVO

---

Desarrollar aplicaciones en MATLAB para la determinación de valores: voltajes, corrientes, potencias e impedancias de componentes de Sistemas Eléctricos de Potencia: Líneas de Transmisión, Máquinas Síncronas y Transformadores a diferentes condiciones.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

---

Los sistemas de cómputo han contribuido al desarrollo de estudios de valores de componentes eléctricos y realizar cálculos de manera más rápida determinando así las opciones o medidas para mejorar los sistemas de potencia sin tener que hacer pruebas físicas.

El ingeniero puede descubrir debilidades en el sistema, como el caso de los voltajes, sobrecargas en líneas o condiciones de carga. Estas debilidades pueden ser removidas al hacer estudios de diseño que incluyan los cambios y/o adiciones al sistema. Es entonces que se plantea modelos de sistemas sujetos a pruebas a través de un sistema de cómputo para descubrir si las debilidades surgen bajo estas condiciones, involucrando la programación. La interacción entre el diseñador del sistema y el programa que se tiene en la computadora continúa hasta que el comportamiento satisface la planeación y el criterio de operación es satisfactorio.

## MÉTODO

---

Mediante los conceptos básicos y teoría de análisis de sistemas eléctricos de potencia se pretende desarrollar aplicaciones para realizar un estudio más rápido y confiable.

Con ayuda de MATLAB se propone realizar diversos programas para la determinación de cálculos eléctricos, este programa tiene un sistema fácil de utilizar, además que es una herramienta muy poderosa para los cálculos matemáticos empleados en el análisis de sistemas eléctricos de potencia.

## INVENTARIO DE MATERIAS

---

- Álgebra Lineal
- Electricidad y magnetismo
- Máquinas eléctricas
- Sistemas eléctricos de potencia I
- Sistemas eléctricos de potencia II
- Algoritmos y Estructuras de datos

## RESULTADOS ESPERADOS

---

Desarrollar aplicaciones que ayuden a la obtención de datos y análisis de sistemas eléctricos de potencia de una manera más rápida, dinámica y confiable.

Brindar a los usuarios una manera de visualizar y hacer una correcta interpretación de los resultados y hacer los cambios pertinentes sin tener que realizarlos de manera física.

*“Intenta no volverte un hombre de éxito, sino volverte un hombre de valor”*

**Albert Einstein**

## AGRADECIMIENTOS

---

Siempre me he sentido maravillado por la familia que tengo, se han preocupado de mí desde el momento en que llegué a este mundo, me han formado para saber cómo luchar y salir victorioso ante las diversas adversidades de la vida. Muchos años después, sus enseñanzas no cesan, y aquí estoy, con un nuevo logro exitosamente conseguido, mi proyecto de tesis.

Quiero agradecerles por todo, no me alcanzan las palabras para expresar el orgullo y lo bien que me siento por tener una familia tan asombrosa.

A mis padres María Luisa Arellano Mendoza y a J. Félix Leal Domínguez.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, perseverancia y constancia, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por el valor mostrado para salir adelante, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mi hermana Alicia Leal Arellano

Que me apoyo y ha estado conmigo en todo momento, con sus consejos y su tiempo para escucharme.

A mi novia Olympia Carolina Carracos Trejo

Por su apoyo y motivación en este logro; por ser una parte muy importante, por su amor ,mi pareja de baile en la vida; gracias te amo!!

Gracias al Ingeniero Téllez Lendeck Joaquín Jorge por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis y por el apoyo y facilidades que me fue otorgado.

*“El presente es vuestro, pero el futuro es mío”*

**Nikola Tesla**

# Contenido

OBJETIVO .....	i
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	i
MÉTODO.....	i
INVENTARIO DE MATERIAS .....	ii
RESULTADOS ESPERADOS .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CAPÍTULO I: CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1 POTENCIA ELÉCTRICA, POTENCIA REACTIVA.....	1
1.2 POTENCIA COMPLEJA Y POTENCIA APARENTE .....	1
1.3 TRIANGULO DE POTENCIAS Y FACTOR DE POTENCIA .....	2
1.4 SISTEMA EN POR UNIDAD .....	2
CAPÍTULO II: LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	3
2.1 TIPOS DE CONDUCTORES .....	3
2.2 RESISTENCIA .....	3
2.3 CÁLCULO DE IMPEDANCIAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN .....	5
2.3.1 ECUACIONES DE CARSON .....	5
ECUACIONES DE CARSON MODIFICADAS.....	6
2.3.2 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN SIN HILOS DE GUARDA.....	8
ESTRUCTURA TIPO P.....	8
ESTRUCTURA TIPO C.....	12
ESTRUCTURA TIPO T .....	15
ESTRUCTURA TIPO HS.....	18
2.3.3 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN CON HILOS DE GUARDA.....	21
ESTRUCTURA TIPO C CON UN HILO DE GUARDA .....	22
ESTRUCTURA TIPO HS CON DOS HILOS DE GUARDA .....	27
2.3.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON CONDUCTORES MÚLTIPLES POR FASE .....	31
LÍNEA DE TRANSMISIÓN UN CIRCUITO, DOS CONDUCTORES POR FASE .....	33
LÍNEA DE TRANSMISIÓN UN CIRCUITO, TRES CONDUCTORES POR FASE .....	38
2.3.5 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON DOBLE CIRCUITO EN PARALELO.....	43
DOBLE CIRCUITO EN PARALELO, UN CONDUCTOR POR FASE.....	43
DOBLE CIRCUITO EN PARALELO, UN CONDUCTOR POR FASE Y DOS CABLES DE GUARDA.....	49

DOBLE CIRCUITO EN PARALELO, DOS CONDUCTORES POR FASE Y DOS CABLES DE GUARDA.....	57
CAPÍTULO III: TRANSFORMADORES .....	65
3.1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO.....	65
3.2 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.....	66
3.3 CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS.....	67
3.3.1 CONEXIÓN ESTRELLA – ESTRELLA.....	67
3.3.2 CONEXIÓN ESTRELLA – DELTA.....	68
3.3.3 CONEXIÓN DELTA – DELTA.....	69
3.3.4 CONEXIÓN DELTA – ESTRELLA.....	70
CAPÍTULO IV: MÁQUINAS SÍNCRONAS.....	72
4.1 GENERACIÓN TRIFÁSICA.....	72
4.2 MODELO EQUIVALENTE .....	72
4.3 CONEXIONES.....	74
CAPÍTULO V: FLUJO DE POTENCIA.....	78
5.1 MODELADO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN .....	79
5.2 MODELADO DE TRANSFORMADORES.....	79
5.3 MÉTODO NEWTON RAPHSON.....	82
Ejemplo Flujo de Potencia.....	84
CAPÍTULO VI: CÓDIGOS DE APLICACIÓN CON MATLAB .....	93
6.1 IMPEDANCIA EN LÍNEAS.....	93
6.2 TRANSFORMADORES.....	103
6.3 MÁQUINAS SÍNCRONAS .....	106
6.4 FLUJOS DE POTENCIA .....	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	122



# CAPÍTULO I: CONCEPTOS BÁSICOS



## 1.1 POTENCIA ELÉCTRICA, POTENCIA REACTIVA

Las variables básicas en un circuito eléctrico son la corriente y el voltaje. La corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre por un material y su unidad de medición es en amperes y el voltaje o diferencia de potencial es el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico sobre una partícula cargada para moverla entre dos posiciones determinadas y su unidad de medida es el volt.

La potencia es la razón de cambio de la energía con respecto al tiempo, la unidad de las potencia es watt, que es igual a 1 Joule por segundo, la potencia absorbida por una carga eléctrica es el producto de la caída de voltaje instantáneo entre los extremos de la carga en volts y la corriente instantánea hacia la carga en amperes.

$$v = V \cos \omega t \quad i = I \cos(\omega t - \theta)$$

$$P = v * i = V \cos \omega t * I \cos(\omega t - \theta) = VI \cos \omega t * \cos(\omega t - \theta)$$

$$\text{Potencia [watt]} = \text{Voltaje [v]} * \text{Corriente [A]}$$

La potencia instantánea absorbida por la parte reactiva de la carga es una senoide de frecuencias dobles con valor promedio de cero y con una amplitud, dada por

$$Q = v * i = V I \text{ sen } (\delta - \beta) \text{ [var]}$$

El término Q se le da el nombre de potencia reactiva aunque tienen las mismas unidades que la potencia real pero se define como unidades de potencia reactiva como volt amperes reactivos o VAR. La potencia reactiva es una cantidad útil cuando se describe la operación de los sistemas de potencia, por ejemplo se puede usar capacitores en derivación en los sistemas de transmisión para entregar potencia reactiva e incrementar de este modo las magnitudes de la tensión durante los periodos de carga pesada.

## 1.2 POTENCIA COMPLEJA Y POTENCIA APARENTE

Para los circuitos que operan en estado estacionario sinusoidal, las potencias reales y la potencia reactiva se calculan a partir de la potencia compleja S, entonces la potencia compleja es el producto de la tensión y el conjugado de la corriente

$$\begin{aligned} S &= V I^* = |V \angle \delta| |I \angle \beta|^* = V I \angle \delta - \beta \\ &= V I \cos(\delta - \beta) + j V I \text{ sen } (\delta - \beta) \end{aligned}$$

Donde  $(\delta - \beta)$  es el ángulo entre la tensión y la corriente, se comparan las ecuaciones de la potencia reactiva y la potencia real con la potencia compleja y se reconoce como

$$S = P + jQ$$

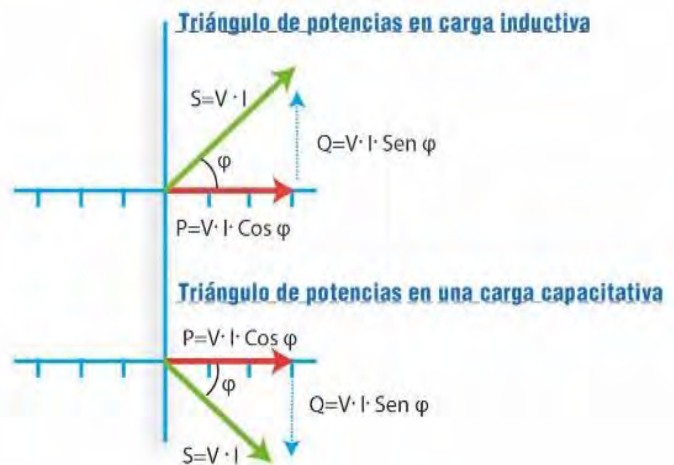
La magnitud  $S = V I$  de la potencia compleja se llama potencia aparente, aun cuando tienen las mismas unidades de P y Q por lo general se definen las unidades de la potencia aparente como volt amperes o VA.

Si P es positiva el elemento de circuito absorbe potencia real positiva y si P es negativa el elemento entrega potencia real positiva. Si Q es positiva el elemento del circuito absorbe potencia reactiva positiva y si Q es negativa el elemento entrega potencia reactiva positiva.

### 1.3 TRIANGULO DE POTENCIAS Y FACTOR DE POTENCIA

La potencia compleja se puede resumir gráficamente mediante el uso del triángulo de potencia.

La potencia aparente S, la potencia real P y la potencia reactiva Q forman los tres lados del triángulo de potencias.



### 1.4 SISTEMA EN POR UNIDAD

En los sistemas de potencia se expresan frecuentemente las cantidades en por ciento o en por unidad de un valor base o de referencia especificado para cada una. El valor en por unidad de cualquier cantidad se define como la relación de la cantidad a su base y se expresa como un decimal y la relación en por ciento es 100 veces el valor en por unidad facilitando así el manejo de operaciones o cálculos.

$$\text{Variable en por unidad} = \frac{\text{Valor Real de la Variable}}{\text{Valor Base de la Variable}}$$

$$\text{Relacion en por ciento} = \text{Valor en por unidad} * 100 [\%]$$

$$\text{Corriente base } A = \frac{kVA_{1\phi} \text{ base}}{\text{tensión base en } kV_{LN}}$$

$$\text{Impedancia base} = \frac{\text{tensión base } V_{LN}}{\text{corriente base en } A}$$

## CAPÍTULO II: LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



### 2.1 TIPOS DE CONDUCTORES

Al principio los conductores eran generalmente de cobre pero los conductores de aluminio han reemplazado completamente a los de cobre debido al menor costo y al peso ligero del conductor de aluminio, el hecho que el conductor de aluminio tenga un mayor diámetro que el de cobre de la misma resistencia es también una ventaja.

Con un mayor diámetro las líneas de flujo eléctrico originadas sobre el conductor estarán más apartadas en la superficie de este para una misma tensión, esto significa un menor gradiente tensión en la superficie y menor tendencia a ionizar el aire a su alrededor, la ionización produce un efecto indeseable llamado efecto corona.

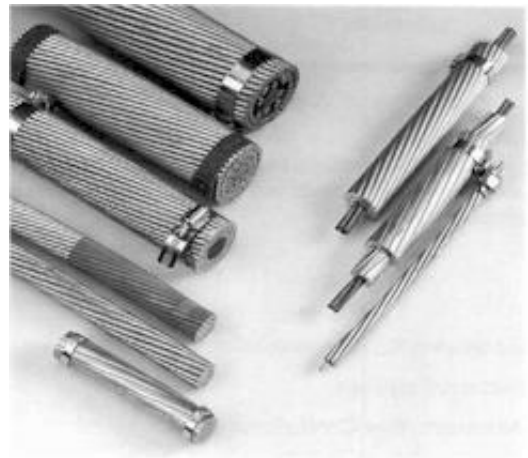
Tipos de conductores de aluminio:

AAC conductor de aluminio

AAAC conductor de aluminio con aleación

ACSR conductor de aluminio con refuerzo de acero

ACAR conductor de aluminio con refuerzo de aleación



Los AAAC tienen mayor resistencia a la tensión que los conductores de tipo ordinario; los ACSR consisten de un núcleo central de alambres de acero rodeado por capas de alambre de aluminio; los ACAR tienen un núcleo central de aluminio de alta resistencia rodeado por capas de conductores eléctricos de aluminio tipo especial; las capas de alambre de un conductor trenzado son enrolladas en dirección opuesta a fin de prevenir desenrollados y hacer que el radio externo de una capa coincida con el radio interno de la siguiente.

### 2.2 RESISTENCIA

La resistencia de los conductores de las líneas de transmisión es el factor más importante en la pérdida de potencia en las líneas. La resistencia efectiva se obtiene

$$R = \frac{\text{Pérdida de potencia en el conductor}}{I^2} \quad \Omega$$

La resistencia de corriente directa está dada por la ecuación

$$R_0 = \frac{\rho l}{A} \quad \Omega$$

$\rho$  = Resistividad del conductor

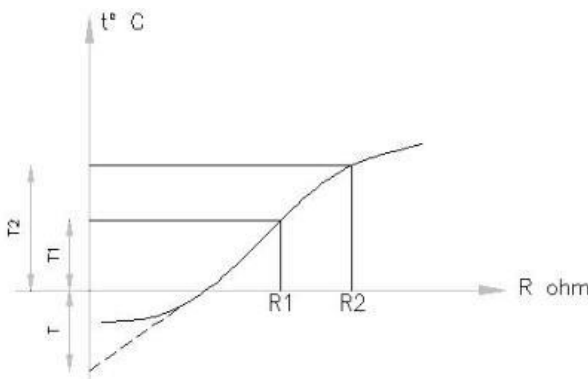
$l$  = Longitud

$A$  = Área de sección transversal

Esta resistencia es mayor a la resistencia en corriente directa de conductores trenzados debido a la colocación en espiral de los hilos haciendo más largo el conductor, superando en alrededor del 2% al 4% la longitud del producto final dependiendo del número de hilos trenzados.



Otro factor que afecta a la resistencia es la temperatura, donde su comportamiento es prácticamente lineal, al aumentar la temperatura la actividad electrónica aumenta y hace que los electrones que se mueven en sentido del campo eléctrico tengan un mayor número de choques y reduzcan su movilidad aumentando así la resistencia eléctrica.



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

Donde:

$T$  es la correspondiente a la intersección con el eje y de la curva de temperatura vs. resistencia.

$R_1$  y  $R_2$  son resistencias del conductor a las temperaturas  $t_1$  y  $t_2$ .

Tabla de temperaturas típicas en conductores

Conductor	Conductividad	Temperatura en °C
Cobre blando	100%	234.5
Cobre semiduro y duro	97.5%	241
Aluminio	61%	228

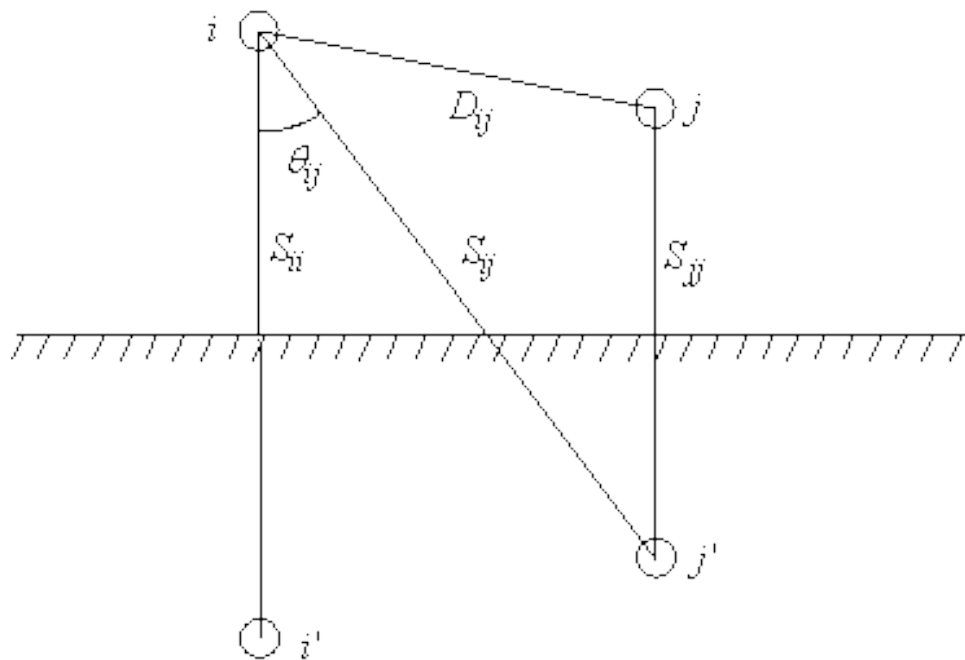
La distribución uniforme de la corriente en la sección trasversal de un conductor solamente se presenta para la corriente directa. Conforme se aumenta la frecuencia de la corriente alterna la no uniformidad de la distribución se hace más pronunciada. Un incremento en la frecuencia da origen a una densidad de corriente no uniforme, a este fenómeno se le conoce como efecto piel, la densidad de corriente en un conductor se incrementa desde el interior hacia la superficie.

## 2.3 CÁLCULO DE IMPEDANCIAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN

### 2.3.1 ECUACIONES DE CARSON

En 1926 el Dr. John R. Carson publicó sus ecuaciones para calcular la impedancia de un circuito, considerando el efecto de retorno por tierra. Estas ecuaciones actualmente son muy utilizadas para el cálculo de parámetros de líneas de transmisión aérea y subterránea.

Carson supone que la tierra es una superficie uniforme, plana, sólida e infinita con una resistividad constante. Cualquier efecto en los extremos de la línea en los puntos de aterrizamiento es despreciable para frecuencias de estado estacionario. Las ecuaciones de Carson son las siguientes:



$$Z_{ii} = r_i + 4\omega P_{ii}G + j \left( X_i + 2wG * \ln \frac{S_{ii}}{RD_i} + 4wQ_{ii}G \right) [\Omega/mi]$$

$$Z_{ij} = r_i + 4\omega P_{ij}G + j \left( 2wG * \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 4wQ_{ij}G \right) [\Omega/mi]$$

Donde:

- $Z_{ii}$  = Impedancia propia del conductor i
- $Z_{ij}$  = Impedancia mutua entre conductores i y j
- $r_i$  = Resistencia del conductor i
- $w$  =  $2\pi f$  = Frecuencia angular del sistema en radianes por segundo
- $G$  =  $0.1609347 \times 10^{-3} [\Omega/\text{mi}]$
- $RD_i$  = Radio del conductor i
- $GMR_i$  = Radio medio geométrico del conductor i
- $f$  = Frecuencia del sistema [Hertz]
- $p$  = Resistividad de tierra en ohms – metro
- $D_{ij}$  = Distancia entre conductores i y j
- $S_{ij}$  = Distancia entre el conductor i y la imagen j
- $\theta_{ij}$  = Ángulo entre el par de líneas dibujadas del conductor i con su imagen y del conductor i y la imagen del conductor j

#### ECUACIONES DE CARSON MODIFICADAS

Dado que las ecuaciones de Carson no podían ser utilizadas porque la resistencia de la tierra, el RMG de la tierra y las distancias de conductores a la tierra no eran conocidos, las ecuaciones de Carson modificadas definieron los parámetros ausentes.

$$r_d = 0.09530 [\Omega/\text{milla}]$$

$$\ln \frac{D_{id}D_{di}}{GMR_d} = \ln \frac{D_{dj}D_{jd}}{GMR_d} = 7.93402$$

Las ecuaciones de Carson con las nuevas aproximaciones son

$$z_{ii} = r_i + 0.00158836 * f + j 0.00202237 * f \left( \ln \frac{1}{GMR_i} + 7.6786 + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) [\Omega/\text{milla}]$$

$$z_{ij} = 0.00158836 * f + j 0.00202237 * f \left( \ln \frac{1}{D_{ij}} + 7.6786 + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) [\Omega/\text{milla}]$$

Para fines prácticos y constancia de datos se asume

F=Frecuencia = 60 Hertz

$\rho$ =Resistencia de tierra = 100 ohm-metro

Utilizando estas suposiciones y las aproximaciones de las ecuaciones, las ecuaciones de Carson modificadas son

$$z_{ii} = r_i + 0.09530 + j 0.12134 \left( \ln \frac{1}{GMR_i} + 7.93402 \right) [\Omega/milla]$$

$$z_{ij} = 0.09530 + j 0.12134 \left( \ln \frac{1}{D_{ij}} + 7.93402 \right) \left[ \frac{\Omega}{milla} \right]$$

O

$$z_{ii} = r_i + 0.059220 + j 0.0754 \left( \ln \frac{1}{GMR_i} + 6.746 \right) [\Omega/km]$$

$$z_{ij} = 0.059220 + j 0.0754 \left( \ln \frac{1}{D_{ij}} + 6.746 \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

### 2.3.2 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN SIN HILOS DE GUARDA

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$d_{ac} ; d_{ab} ; d_{bc} ; \text{ en [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor} (DMG_{abc})^2} \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

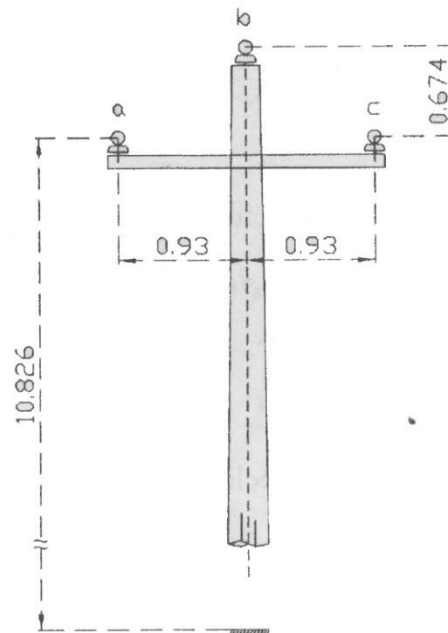
$$Z_0 = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_1} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

#### ESTRUCTURA TIPO P

Tipo de estructura	PS30
Tensión nominal	34.5kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 Ω m
Cables de guarda	No

Características de los conductores

Tipo	ASCR calibre 266.8 kCM 26/7
RMG	6.61416 mm
R en AC	0.23426 Ω / km





Cálculos hechos a calculadora

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$\text{Distancia[ a ][ b ]} = 1.149 \text{ [m]}$$

$$\text{Distancia[ a ][ c ]} = 1.860 \text{ [m]}$$

$$\text{Distancia[ b ][ c ]} = 1.149 \text{ [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 1.3488 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor} (DMG_{abc})^2} = 0.2292 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.2342 + 0.4009i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_1} \right) = 0.4121 + 1.859i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método de distribución sin hilos de guarda

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA SIN HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura: PS30

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00661416

r en AC [ohm / km]: 0.23426

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

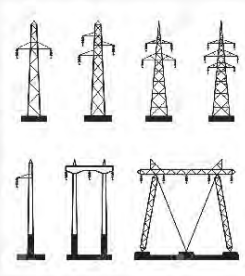
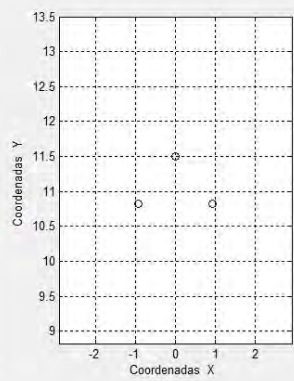
0.93 10.826  
0 11.5  
0.93 10.826

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.4121+1.8689i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.23426+0.40095i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: PS30

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00661416

r en AC [ohm / km]: 0.23426

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

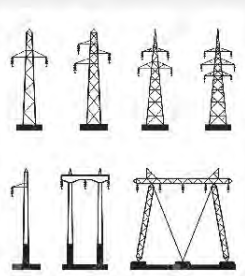
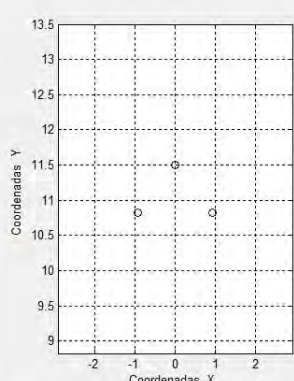
0.93 10.826  
0 11.5  
0.93 10.826

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.41192+1.8592i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.23426+0.40096i [ohm / km]

## Paladin DesignBase 5.0

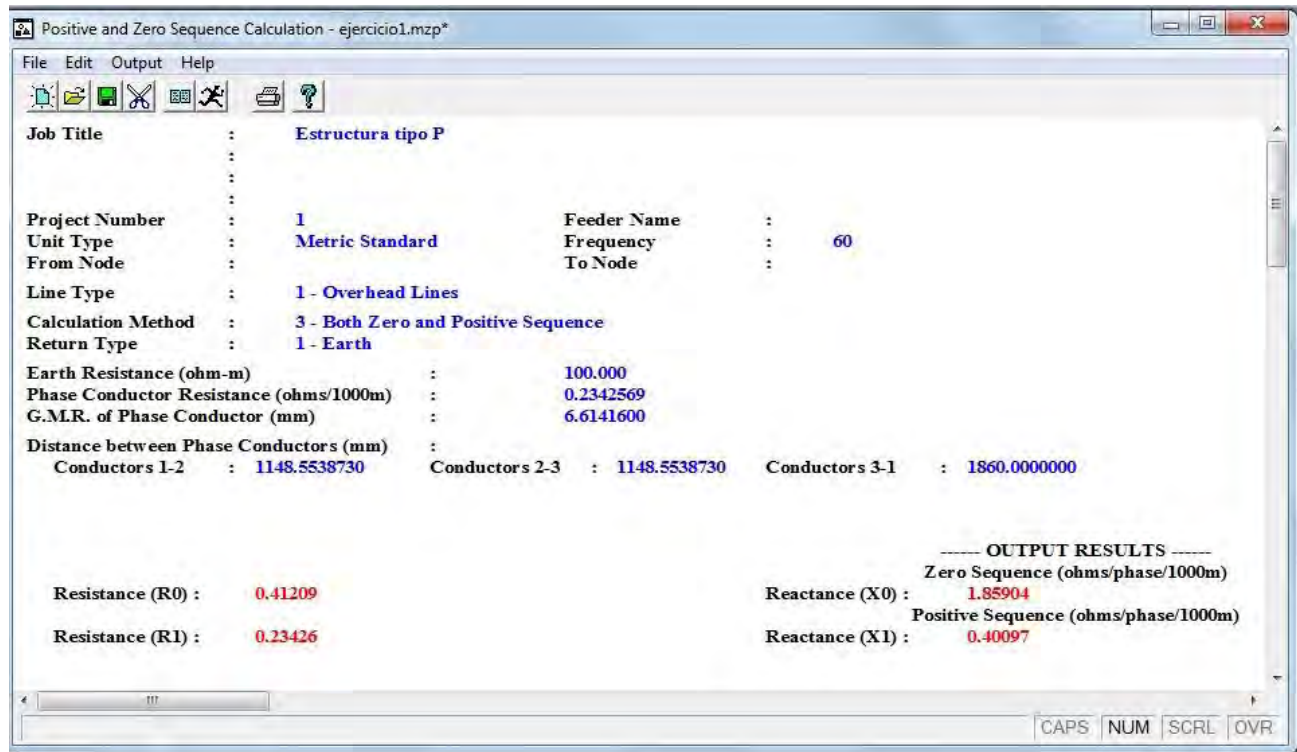


Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	0.41209 + 1.8590 i	0.23426 + 0.40095 i
<b>Aplicación 1</b>	0.4121 + 1.8589 i	0.23426 + 0.40095 i
<b>Aplicación Carson</b>	0.41192 + 1.8592 i	0.23426 + 0.40096 i
<b>Paladin DesignBase 5.0</b>	0.41209 + 1.85904 i	0.23426 + 0.40097 i

## ESTRUCTURA TIPO C

Tipo de estructura	CT
Tensión nominal	34.5kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 Ω m
Cables de guarda	No

### Características de los conductores

Tipo	ASCR calibre 266.8 kCM 26/7
RMG	6.61416 mm
R en AC	0.23426 Ω / km

### Cálculos hechos a calculadora

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

Distancia[ a ][ b ]=	2.181	[m]
Distancia[ a ][ c ]=	1.860	[m]
Distancia[ b ][ c ]=	1.140	[m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

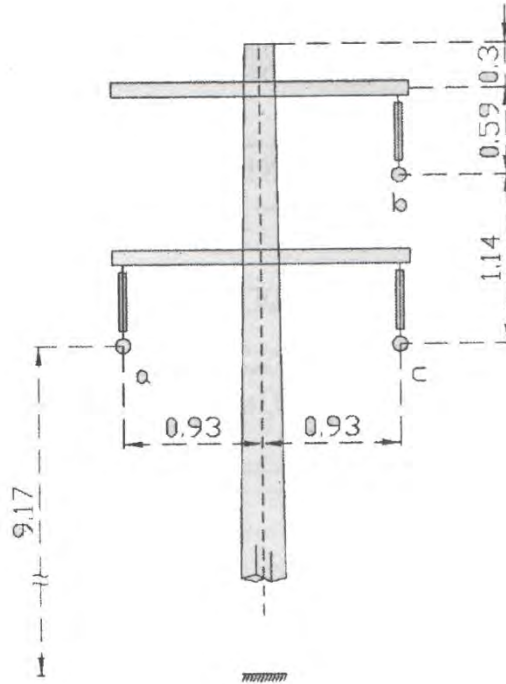
$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 1.6662 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor} (DMG_{abc})^2} = 0.2609 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.18952 + 0.41936i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$



## Cálculo de impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_1} \right) = 0.36735 + 1.8296i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método sin hilos de guarda

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA SIN HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura: CT

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0064008

r en AC [ohm / km]: 0.18952

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

0.93 9.17  
0.93 10.31  
0.93 9.17

Calcular Nueva Línea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.36736+1.8295i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.18952+0.41935i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: CT

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0064008

r en AC [ohm / km]: 0.18952

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

0.93 9.17  
0.93 10.31  
0.93 9.17

Calcular Nueva Línea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.36718+1.8298i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.18952+0.41937i [ohm / km]

## Paladin DesignBase 5.0

Positive and Zero Sequence Calculation - untitled.mzp\*

File Edit Output Help

Job Title : Estructura tipo nC

Project Number : 2 Feeder Name : fname1

Unit Type : Metric Standard Frequency : 60

From Node : To Node :

Line Type : 1 - Overhead Lines

Calculation Method : 3 - Both Zero and Positive Sequence

Return Type : 1 - Earth

Earth Resistance (ohm-m) : 100.000

Phase Conductor Resistance (ohms/1000m) : 0.1895182

G.M.R. of Phase Conductor (mm) : 6.4008000

Distance between Phase Conductors (mm) :

Conductors 1-2 : 2181.5590760 Conductors 2-3 : 1140.0000000 Conductors 3-1 : 1860.0000000

----- OUTPUT RESULTS -----

Zero Sequence (ohms/phase/1000m)

Resistance (R0) : 0.36735 Reactance (X0) : 1.82964

Positive Sequence (ohms/phase/1000m)

Resistance (R1) : 0.18952 Reactance (X1) : 0.41938

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	$0.36735 + 1.8296 i$	$0.18952 + 0.41936 i$
<b>Aplicación 1</b>	$0.36736 + 1.8295 i$	$0.18952 + 0.41935 i$
<b>Aplicación Carson</b>	$0.36718 + 1.8298 i$	$0.18952 + 0.41937 i$
<b>Paladin DesignBase 5</b>	$0.36735 + 1.82964 i$	$0.18952 + 0.41938 i$

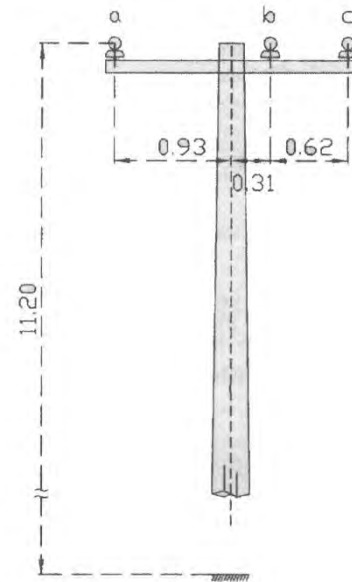


## ESTRUCTURA TIPO T

Tipo de estructura	TS30
Tensión nominal	23 kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 $\Omega$ m
Cables de guarda	No

### Características de los conductores

Tipo	cobre HD calibre 4/0 AWG 19 hilos
RMG	5.08064 mm
R en AC	0.188275 $\Omega$ / km



### Cálculos hechos a calculadora

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

Distancia[ a][ b]=	1.240	[m]
Distancia[ a][ c]=	1.860	[m]
Distancia[ b][ c]=	0.620	[m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 1.1266 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor} (DMG_{abc})^2} = 0.1861 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.18828 + 0.40722i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_1} \right) = 0.36611 + 1.9060i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método sin hilos de guarda

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA SIN HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura: TS30

Tension Nominal [kV]: 23

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.005084064

r en AC [ohm / km]: 0.188275

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

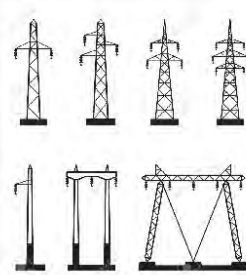
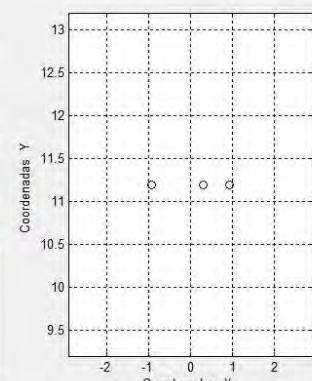
-0.93 11.2  
0.31 11.2  
0.93 11.2

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.36611+1.9058i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.18828+0.40721i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: TS30

Tension Nominal [kV]: 23

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.005084064

r en AC [ohm / km]: 0.188275

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

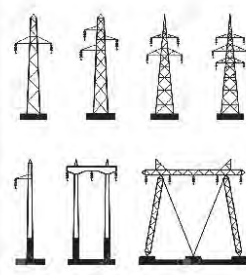
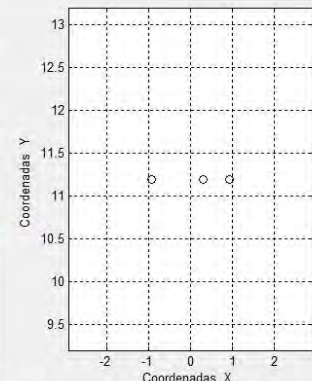
-0.93 11.2  
0.31 11.2  
0.93 11.2

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.36594+1.9062i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.18827+0.40722i [ohm / km]



## Paladin DesignBase 5.0

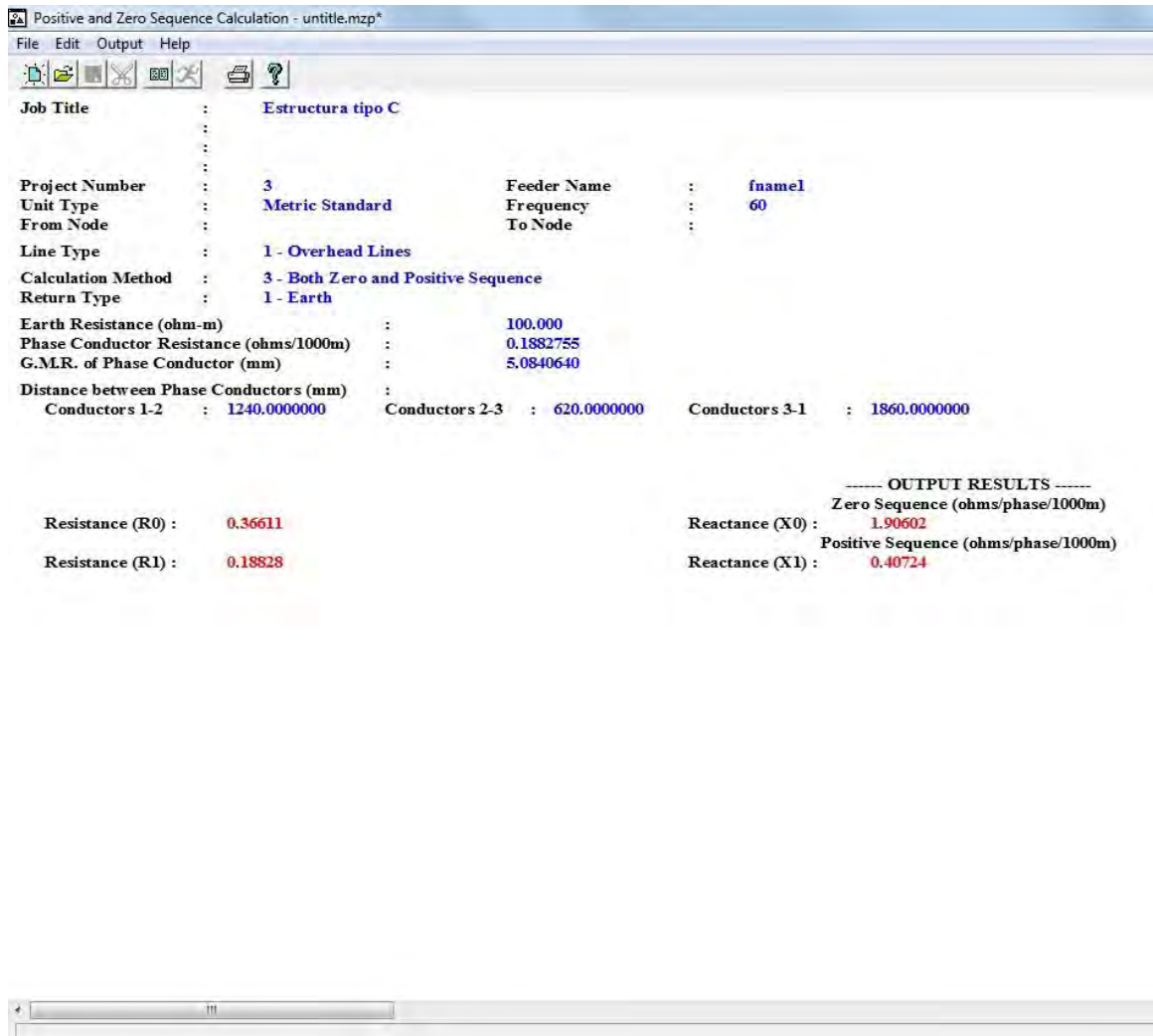
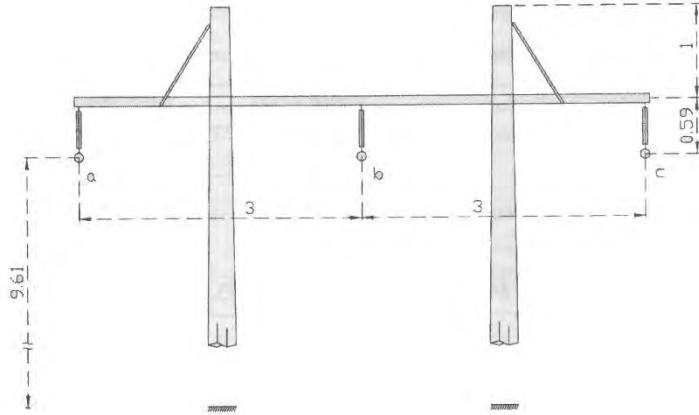


Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	$0.36611 + 1.9060$	$0.18828 + 0.40721 i$
<b>Aplicación 1</b>	$0.36611 + 1.9058 i$	$0.18828 + 0.40721 i$
<b>Aplicación Carson</b>	$0.36594 + 1.9062 i$	$0.18827 + 0.40722 i$
<b>Paladin DesignBase 5</b>	$0.36611 + 1.90602 i$	$0.18828 + 0.40724 i$

## ESTRUCTURA TIPO HS

Tipo de estructura	HS
Tensión nominal	34.5kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 $\Omega$ m
Cables de guarda	No



### Características de los conductores

Tipo	aluminio AAC calibre 300kCM
RMG	0.00603504 m
R en AC	0.21251 $\Omega$ / km

### Cálculos hechos a calculadora

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

Distancia[ a ][ b ]	= 3 [m]
Distancia[ a ][ c ]	= 6 [m]
Distancia[ b ][ c ]	= 3 [m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 3.7797 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor} (DMG_{abc})^2} = 0.4417 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.21251 + 0.48555i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_1} \right) = 0.39034 + 1.71052i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método sin hilos de guarda

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA SIN HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura: HS

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00603504

r en AC [ohm / km]: 0.21251

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

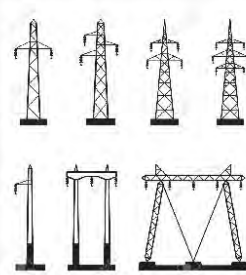
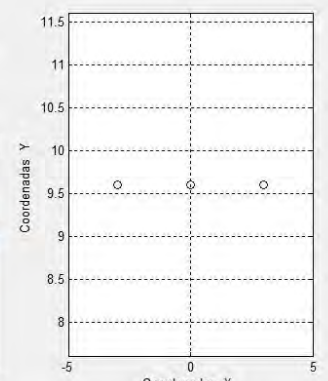
Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

3 9.61  
0 9.61  
3 9.61

Calcular Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.39035+1.7104i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.21251+0.48555i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: HS

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00603504

r en AC [ohm / km]: 0.21251

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

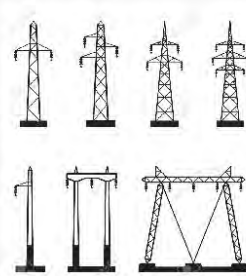
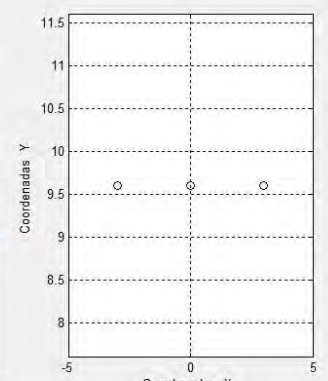
Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

3 9.61  
0 9.61  
3 9.61

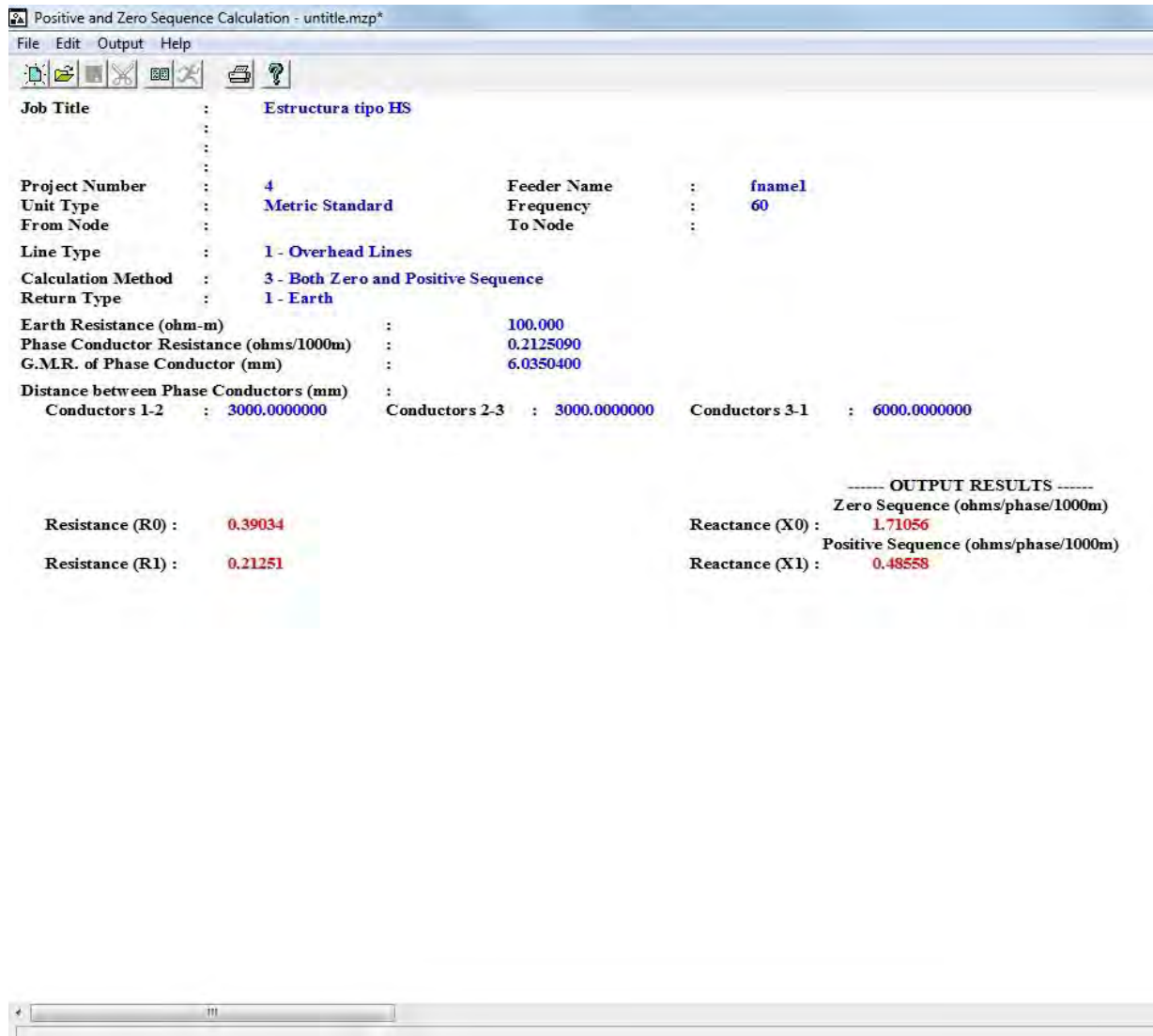



Calcular Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.39017+1.7107i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.21251+0.48555i [ohm / km]

# Paladin DesignBase 5.0



	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	0.39034 + 1.71052 i	0.21251 + 0.48555 i
<b>Aplicación 1</b>	0.39035 + 1.7104 i	0.21251 + 0.48555 i
<b>Aplicación Carson</b>	0.39017 + 1.7107 i	0.2151 + 0.48556 i
<b>Paladin DesignBase 5</b>	0.39034 + 1.71056 i	0.21251 + 0.48558 i

### 2.3.3 LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN CON HILOS DE GUARDA

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$d_{ac} ; d_{ab} ; d_{bc} \text{ en [m]}$$

Se calcula también la distancia entre los conductores y los cables de guarda

Para un cable de guarda	Para dos cables de guarda
$d_{ga} ; d_{gb} ; d_{gc} \text{ en [m]}$	$d_{g1a} ; d_{g1b} ; d_{g1c} ; d_{g2a} ; d_{g2b} ; d_{g2c} ; d_{g1g2} \text{ en [m]}$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor}(DMG_{abc})^2} \text{ [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre el grupo de conductores y el cable de guarda

Para un cable de guarda	Para dos cables de guarda
$DMG_{lg} = \sqrt[3]{d_{ga} d_{gb} d_{gc}} \text{ [m]}$	$DMG_{lg} = \sqrt[6]{d_{g1a} d_{g1b} d_{g1c} d_{g2a} d_{g2b} d_{g2c}} \text{ [m]}$

El radio medio geométrico del cable de guarda o cables de guarda

Para un cable de guarda	Para dos cables de guarda
$RMG_g$	$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1g2})}$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

Primero se calcula la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = r_{conductor} + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} \right) \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Se calcula la impedancia propia de secuencia cero del cable de guarda

Para un cable de guarda	Para dos cables de guarda
$Z'_{0g} = 3 r_g + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_g} \right) \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$	$Z'_{0g} = \frac{3}{2} r_g + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} \right) \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$

Cálculo de la impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y el cable de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_{lg}} \right) \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

#### ESTRUCTURA TIPO C CON UN HILO DE GUARDA

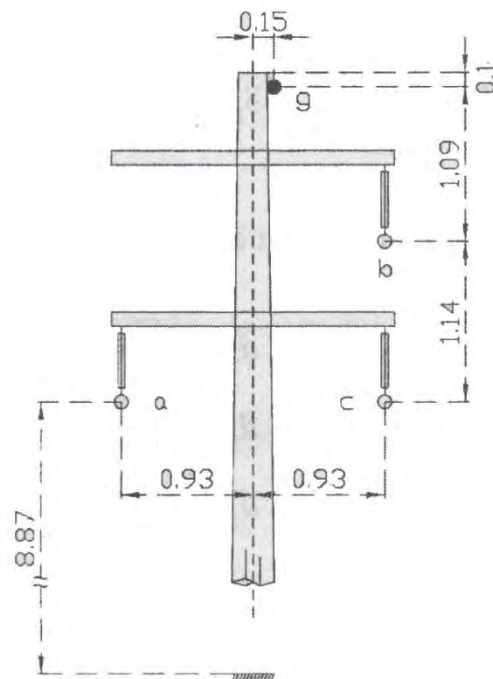
Tipo de estructura	CT1G
Tensión nominal	34.5kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 $\Omega$ m
Cables de guarda	1

#### Características de los conductores

Tipo	aluminio ACSR calibre 300kCM 26/7
RMG	7.0104 mm
R en AC	0.2087 $\Omega$ / km

#### Características del cable de guarda

Tipo	Acero galvanizado 3/8"
RMG	3.32232 mm
R en AC	3.49210 $\Omega$ / km



Cálculos hechos a calculadora

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$\text{Distancia [ a ][ b ]} = 2.182 \text{ [m]}$$

$$\text{Distancia [ a ][ c ]} = 1.860 \text{ [m]}$$

$$\text{Distancia [ b ][ c ]} = 1.140 \text{ [m]}$$

Se calcula también la distancia entre los conductores y los cables de guarda

$$\text{Distancia [ a ][ g ]} = 2.478 \text{ [m]}$$

$$\text{Distancia [ b ][ g ]} = 1.340 \text{ [m]}$$

$$\text{Distancia [ c ][ g ]} = 2.362 \text{ [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 1.6662 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor}(DMG_{abc})^2} = 0.2689 \text{ [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre el grupo de conductores y el cable de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[3]{d_{ga} d_{gb} d_{gc}} = 1.9870 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.20878 + 0.4125 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

Primero se calcula la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = r_{conductor} + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} \right) = 0.20878 + 0.45232 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Se calcula la impedancia propia de secuencia cero del cable de guarda

$$Z'_{0g} = 3 r_g + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_g} \right) = 10.47631 + 1.44624 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y el cable de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_{lg}} \right) = 0.17784 + 1.37041 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} = 0.53729 + 1.7372 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Método con hilos de guarda

The screenshot shows a software application titled "IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA". The interface is divided into several sections:

- Line Configuration:** Includes a dropdown for "LINEA CON HILOS DE GUARDA", "Tipo de estructura" (CT1G), "Tension Nominal [kV]" (34.5), "Numeros de circuitos" (1 Circuito), "Frecuencia [Hz]" (60), "Resistividad del Terreno [ohm-m]" (100), and "Cables de guarda" (1 cable de guarda).
- Conductor Selection:** Two dropdown menus for "TIPOS DE CONDUCTORES" with associated "RMG [m]" and "r en AC [ohm / km]" values.
- Coordinate System:** A grid for "Insertar Coordenadas" with "Sistema Internacional" checked. It includes "Guardar" and "Quitar" buttons and lists of X and Y coordinates.
- Calculation Results:** A "Calcular" button leads to results for "IMPEDANCIA (0) Z0" (0.53719+1.7371i [ohm / km]) and "IMPEDANCIA (+) Z1" (0.2087+0.41249i [ohm / km]).



## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura: CT1G

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 1 cable de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0070104

r en AC [ohm / km]: 0.2087

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0032232

r en AC [ohm / km]: 3.49210

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

0.93 8.87  
0.93 10.01  
0.93 8.87  
0.15 11.1

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.53719+1.737i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.2087+0.41249i [ohm / km]

## Guardado de resultados en un archivo TXT para consulta después

```

Linea.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
RESULTADOS DE CALCULO DE IMPEDANCIA
----- CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA -----
Tipo de estructura      = CT1G
Tension Nominal        = 34.5 [ kV ]
Numero de circuitos    = 1
Conductores por fase   = 1
Cables de guarda      = 1
Frecuencia              = 60 [Hz]
Resistividad del terreno = 100 [ohm-m]
Regreso por Tierra     = 849.47 [m]
----- CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES -----
Tipo : Edit Text
RMG : 0.007010 [m]
Resistencia AC : 0.208700 [ohm / km]
-----CARACTERISTICAS DE CABLE DE GUARDA -----
Tipo : Edit Text
RMG : 0.003222 [m]
Resistencia AC : 3.492100 [ohm / km]
----- POSICIONES -----
Posiciones[ 1]= [ -0.930 , 8.870 ] [m]
Posiciones[ 2]= [ 0.930 , 10.010 ] [m]
Posiciones[ 3]= [ 0.930 , 8.870 ] [m]
Posiciones[ 4]= [ 0.150 , 11.100 ] [m]
----- DISTANCIAS -----
Distancia [ 1 ][ 2 ] = 2.182 [m]
Distancia [ 1 ][ 3 ] = 1.860 [m]
Distancia [ 1 ][ 4 ] = 2.478 [m]
Distancia [ 2 ][ 3 ] = 1.140 [m]
Distancia [ 2 ][ 4 ] = 1.340 [m]
Distancia [ 3 ][ 4 ] = 2.362 [m]
-----
Impedancia de secuencia(0) Z0 = 0.53719+1.737i [ohm/km]
Impedancia de secuencia(+) Z1 = 0.2087+0.41249i [ohm/km]

```

## Paladin DesignBase 5.0

Positive and Zero Sequence Calculation - untitled.mzp\*

File Edit Output Help

Job Title : Estructura Ccon hilo de guarda

Project Number :  
Unit Type : Metric Standard Feeder Name :  
From Node : Frequency : 60  
To Node :  
Line Type : 1 - Overhead Lines  
Calculation Method : 3 - Both Zero and Positive Sequence  
Return Type : 3 - Ground Neutral-Earth

Earth Resistance (ohm-m) : 100.000  
Phase Conductor Resistance (ohms/1000m) : 0.2087807  
G.M.R. of Phase Conductor (mm) : 7.0104000

Distance between Phase Conductors (mm) :  
Conductors 1-2 : 2181.5590760 Conductors 2-3 : 1140.0000000 Conductors 3-1 : 1860.0000000

Number of Neutral Conductors : 1  
Neutral Conductor Resistance (ohms/1000m) : 3.4921061  
G.M.R. of Neutral Conductor (mm) : 3.3223200

Distance from Phase Conductor to 1st Neutral (mm)  
Phase 1 to Neutral : 2477.7610860 Phase 2 to Neutral : 1340.3357790 Phase 3 to Neutral : 2362.4775130

----- OUTPUT RESULTS -----  
Zero Sequence (ohms/phase/1000m)  
Resistance (R0) : 0.53729 Reactance (X0) : 1.73727  
Positive Sequence (ohms/phase/1000m)  
Resistance (R1) : 0.20878 Reactance (X1) : 0.41252

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	$0.53729 + 1.7372 i$	$0.20878 + 0.4125 i$
<b>Aplicación 1</b>	$0.53719 + 1.737 i$	$0.2087 + 0.41249 i$
<b>Aplicación Carson</b>	$0.53719 + 1.737 i$	$0.2087 + 0.41249 i$
<b>Paladin DesignBase 5</b>	$0.53729 + 1.73727 i$	$0.20878 + 0.41252 i$

## ESTRUCTURA TIPO HS CON DOS HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura	HS2G
Tensión nominal	34.5kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 $\Omega$ m
Cables de guarda	1

### Características de los conductores

Tipo	aluminio ACSR calibre 266.8 kCM 26/7
RMG	6.61416 mm
R en AC	0.23426 $\Omega$ / km

### Características del cable de guarda

Tipo	Acero galvanizado 3/8"
RMG	3.32232 mm
R en AC	3.49210 $\Omega$ / km

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

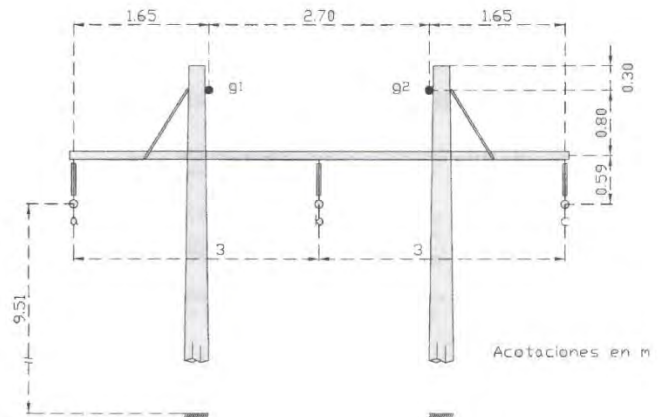
$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

Distancia[ a ][ b ]	=	3.000	[m]
Distancia[ a ][ c ]	=	6.000	[m]
Distancia[ a ][ g1 ]	=	2.157	[m]
Distancia[ a ][ g2 ]	=	4.567	[m]
Distancia[ b ][ c ]	=	3.000	[m]
Distancia[ b ][ g1 ]	=	1.938	[m]
Distancia[ b ][ g2 ]	=	1.938	[m]
Distancia[ c ][ g1 ]	=	4.567	[m]
Distancia[ c ][ g2 ]	=	2.157	[m]
Distancia [ g1 ][ g2 ]	=	2.700	[m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 3.7797 \text{ [m]}$$



Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{conductor}(DMG_{abc})^2} = 0.4554 \text{ [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre el grupo de conductores y el cable de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[6]{d_{g1a} d_{g1b} d_{g1c} d_{g2a} d_{g2b} d_{g2c}} = 2.6726 \text{ [m]}$$

El radio medio geométrico del cable de guarda o cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1} d_{g2})} = 0.0947 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.23426 + 0.47864 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero

Primero se calcula la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = r_{conductor} + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} \right) = 0.23426 + 0.40025 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Se calcula la impedancia propia de secuencia cero del cable de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3}{2} r_g + (0.52083 i) \left( \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} \right) = 5.23816 + 0.75549 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y el cable de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \left( \log \frac{D_e}{RMG_{lg}} \right) = 0.17784 + 1.30336 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} = 0.65262 + 1.5266 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método con hilos de guarda

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON HILOS DE GUARDA

Tipo de estructura: HS2G

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00661416	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.23426	r en AC [ohm / km]: 3.49210
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar [X] [Y] Quitar

Calcular

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.65257+1.5265i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.23426+0.47864i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: HS2G

Tension Nominal [kV]: 34.5

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00661416	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.23426	r en AC [ohm / km]: 3.49210
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar [X] [Y] Quitar

Calcular

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.65256+1.5268i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.23492+0.47851i [ohm / km]



## Paladin DesignBase 5.0

Positive and Zero Sequence Calculation - untitled.mzp\*

File Edit Output Help

Job Title : Estructura tipo HS con dos cables de Guarda

Project Number :  
Unit Type : Metric Standard  
From Node :  
Line Type : 1 - Overhead Lines  
Calculation Method : 3 - Both Zero and Positive Sequence  
Return Type : 3 - Ground Neutral-Earth

Feeder Name :  
Frequency : 60  
To Node :

Earth Resistance (ohm-m) : 100.000  
Phase Conductor Resistance (ohms/1000m) : 0.2342569  
G.M.R. of Phase Conductor (mm) : 6.6141600

Distance between Phase Conductors (mm)  
Conductors 1-2 : 3000.0000000 Conductors 2-3 : 3000.0000000 Conductors 3-1 : 6000.0000000

Number of Neutral Conductors : 2 Distance between Neutral Conductors(mm) : 2700.0000000

Neutral Conductor Resistance (ohms/1000m) : 3.4921061  
G.M.R. of Neutral Conductor (mm) : 3.3223200

Distance from Phase Conductor to 1st Neutral (mm)  
Phase 1 to Neutral : 2157.4522010 Phase 2 to Neutral : 1937.6790240 Phase 3 to Neutral : 4566.6836980  
Distance from Phase Conductor to 2nd Neutral (mm)  
Phase 1 to Neutral : 4566.6836980 Phase 2 to Neutral : 1937.6790240 Phase 3 to Neutral : 2157.4522010

----- OUTPUT RESULTS -----  
Zero Sequence (ohms/phase/1000m)  
Reactance (X0) : 1.52668  
Positive Sequence (ohms/phase/1000m)  
Reactance (X1) : 0.47867

Resistance (R0) : 0.65262  
Resistance (R1) : 0.23426

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	0.65262+1.5266 i	0.23426+0.47864 i
<b>Aplicación 1</b>	0.65257 + 1.5265 i	0.23426 + 0.47864 i
<b>Aplicación Carson</b>	0.65256 + 1.5268 i	0.23492 + 0.47851 i
<b>Paladin DesignBase 5</b>	0.65262 + 1.52668 i	0.23426 + 0.47867 i

### 2.3.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON CONDUCTORES MÚLTIPLES POR FASE

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$d_{ac} ; d_{ab} ; d_{bc} \quad d_{g1a} ; d_{g1b} ; d_{g1c} ; d_{g2a} ; d_{g2b} ; d_{g2c} ; d_{g1g2} \quad \text{en [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los conductores por fase

Dos conductores por fase	Tres conductores por fase	Cuatro conductores por fase
$RMG_{2 \text{ conductores}}$	$RMG_{3 \text{ conductores}}$	$RMG_{4 \text{ conductores}}$
$\sqrt{(RMG_{conductor})(S)}$	$\sqrt[3]{(RMG_{conductor})(S^2)}$	$1.09^4 \sqrt{(RMG_{conductor})(S^3)}$

\*S = Separación entre fases

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de la línea

$$RMG_l = \sqrt[3]{RMG_{\# \text{ conductores}}(DMG_{abc})^2}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los conductores equivalentes y los cables de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[6]{d_{g1a} d_{g1b} d_{g1c} d_{g2a} d_{g2b} d_{g2c}}$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1g2})}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva  $Z_1$

Número de conductores	
$N = 2$	$\frac{r_{conductor}}{N} + (0.17361 i) \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{3 \text{ conductores}}} \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$
$N = 3$	
$N = 4$	

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

Número de conductores	
$N = 2$	$Z'_{0l} = \frac{r_{conductor}}{N} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$
$N = 3$	
$N = 4$	

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$



## LÍNEA DE TRANSMISIÓN UN CIRCUITO, DOS CONDUCTORES POR FASE

Tipo de estructura	4101
Tensión nominal	400kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	2
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 $\Omega$ m
Cables de guarda	2

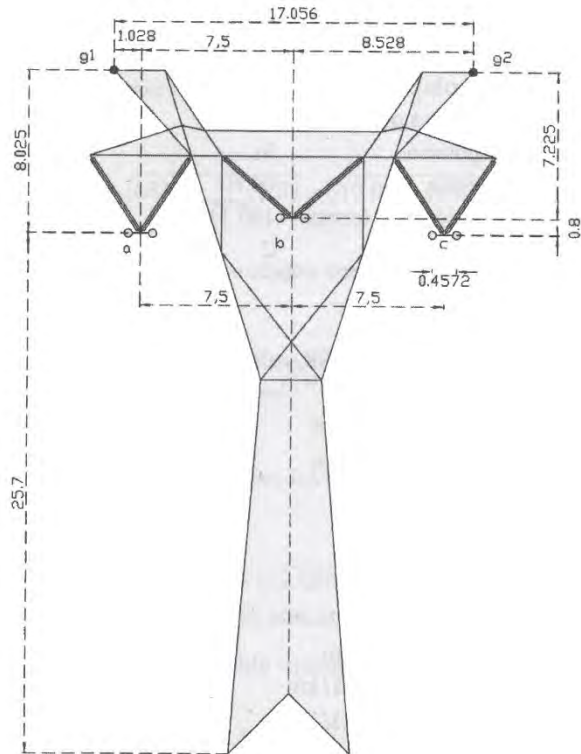
### Características de los conductores

Tipo	aluminio ACSR calibre 1113 kCM 54/19
RMG	1.32588 mm
R en AC	0.06021 $\Omega$ / km

### Características del cable de guarda

Tipo	Acero galvanizado 3/8"
RMG	3.32232 mm
R en AC	3.49210 $\Omega$ / km

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra



$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

Distancia [ a ][ b ]	=	7.543	[m]
Distancia [ a ][ c ]	=	15.000	[m]
Distancia [ a ][ g1 ]	=	8.091	[m]
Distancia [ a ][ g2 ]	=	17.925	[m]
Distancia [ b ][ c ]	=	7.543	[m]
Distancia [ b ][ g1 ]	=	11.177	[m]
Distancia [ b ][ g2 ]	=	11.177	[m]
Distancia [ c ][ g1 ]	=	17.925	[m]
Distancia [ c ][ g2 ]	=	8.091	[m]
Distancia [ g1 ][ g2 ]	=	17.056	[m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 9.4851 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los conductores por fase

$$\sqrt{(RMG_{conductor})(S)} = 0.0778 [m] \quad *S = \text{Separación entre fases}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de la línea

$$\sqrt[3]{RMG_2 \text{ conductores}(DMG_{abc})^2} = 1.9133 [m]$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los conductores equivalentes y los cables de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[6]{d_{g1a} d_{g1b} d_{g1c} d_{g2a} d_{g2b} d_{g2c}} = 11.7468 [m]$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1} d_{g2})} = 0.2380 [m]$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = \frac{r_{conductores}}{2} + (0.17361 i) \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_3 \text{ conductores}} = 0.0301 + 0.36211 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = \frac{r_{conductor}}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} = 0.0301 + 0.41048 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} = 5.23816 + 0.8819 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} = 0.17784 + 0.96848 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} = 0.33834 + 1.27081 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método con conductores múltiples por fase

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON CONDUCTORES MULTIPLES POR FASE

Tipo de estructura: 4101

Tension Nominal [kV]: 400

Numero de circuitos: + Circuito

Conductor por fase: 2 angulo de 0°

Separacion [m]: 0.4572

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.06021	r en AC [ohm / km]: 3.492106
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

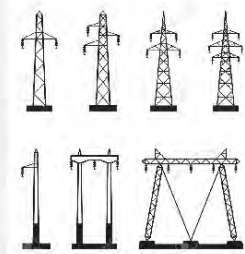
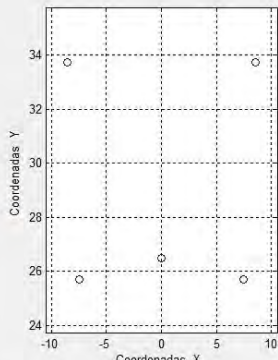
[X] [Y]

Calcular

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.3383+1.2707i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.030105+0.3621i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: 4101

Tension Nominal [kV]: 400

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase: 2 angulo de 0°

Separacion [m]: 0.4572

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.06021	r en AC [ohm / km]: 3.492106
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

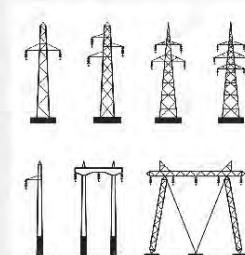
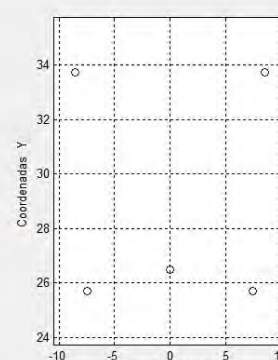
[X] [Y]

Calcular

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.33825+1.271i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.030608+0.36202i [ohm / km]

# Paladin DesignBase 5.0

## Transmission Line Constants Program v3.10.0.0

=====

```

Project No. :
Project Name:
Title       :
Drawing No. :
Revision No.:
Unit System : Metric
Jobfile Name: 4101

Date       : March 08, 2016
Time      : 04:23:43 AM
Company   :
Engineer  :
    
```

### Overhead Configuration

=====

```

Frequency           = 60.00 (Hz)
Earth Resistivity  = 100.00 (ohm-meter)
Average Height Calculation : Method 2
Transposition      : Yes
    
```

### Circuits

=====

```

[ 1] Circuit Name : 4101
      From Bus    :
      To Bus      :
      Number of Phases : 3
    
```

No.	Phase	Bdl	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle	
Phase	Current	Wrs	Angle	Hght	Pos	(cm)	(cm)	(cm)	(kV)	Sep	
(deg)	(A)	(deg)	(ohm/km)	(m)	(m)				(deg)	(cm)	
1	a	2	0.05742	23.700	-7.500	3.284	n/a	1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000		0.0								
2	b	2	0.05742	24.500	0.000	3.284	n/a	1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000		0.0								
3	c	2	0.05742	23.700	7.500	3.284	n/a	1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000		0.0								

### Ground Wires

=====

No.	Grnd	SEG	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	
Wire			(ohm/km)	Hght	Pos	(cm)		(cm)	(kV)	
				(m)	(m)				(deg)	
1	G1	N	3.32582	32.725	-8.528	0.953	n/a	0.33223	0.0	0.0
2	G2	N	3.32582	32.725	8.528	0.953	n/a	0.33223	0.0	0.0

Impedance Calculation Results  
=====

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Impedances for Circuit number 1

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
	-----	-----	-----
-			
Positive Sequence	0.0293	0.3571	4.553
Zero Sequence	0.3385	1.2858	2.522

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
	-----	-----	-----
-			
Positive Sequence	0.0293	0.3571	4.553
Zero Sequence	0.3385	1.2858	2.522

Tabla de comparación de resultados

	<b>Impedancia Cero <math>Z_0</math></b>	<b>Impedancia Positiva <math>Z_1</math></b>
<b>Cálculos teóricos</b>	$0.33834 + 1.27081 i$	$0.0301 + 0.36211 i$
<b>Aplicación 1</b>	$0.3383 + 1.2707 i$	$0.030105 + 0.3621 i$
<b>Aplicación Carson</b>	$0.33825 + 1.271 i$	$0.030608 + 0.36202 i$
<b>Paladín DesignBase 5</b>	$0.3385 + 1.2858 i$	$0.0293 + 0.3571 i$

## LÍNEA DE TRANSMISIÓN UN CIRCUITO, TRES CONDUCTORES POR FASE

Tipo de estructura	4136
Tensión nominal	400kV
Número de circuitos	1
Conductores por fase	3
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 Ω m
Cables de guarda	2

### Características de los conductores

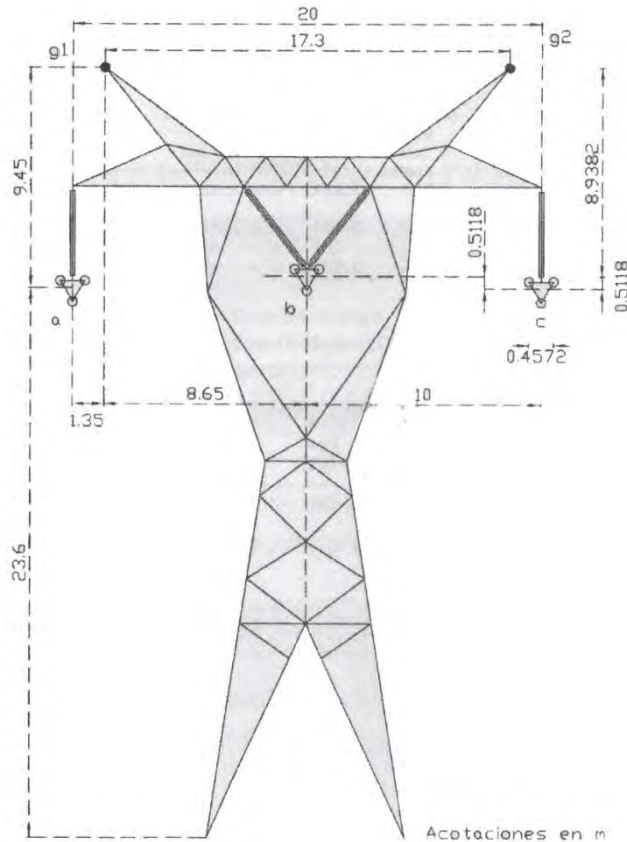
Tipo aluminio ACSR calibre 1113 kCM  
54/19

RMG	1.32588 mm
R en AC	0.06021 Ω / km

### Características del cable de guarda

Tipo Acero galvanizado 3/8"

RMG	3.32232 mm
R en AC	3.49210 Ω / km



### Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ac} d_{ab} d_{bc}} = 12.6102 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los conductores por fase

$$RMG_{3 \text{ conductores}} = \sqrt[3]{(RMG_{conductor})(S^2)} = 0.1404 \text{ [m]} \quad *S = \text{Separación entre fases}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de la línea

$$RMG_l = \sqrt[3]{RMG_{\# \text{ conductores}}(DMG_{abc})^2} = 2.8162 \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los conductores equivalentes y los cables de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[6]{d_{g1a} d_{g1b} d_{g1c} d_{g2a} d_{g2b} d_{g2c}} = 13.5403$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1g2})} = 0.2397 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = \frac{r_{conductores}}{3} + (0.17361 i) \log \frac{DMG_{abc}}{RMG_{3 \text{ conductores}}} = 0.02007 + 0.3391 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = \frac{r_{conductor}}{3} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} = 0.02007 + 0.35518 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} = 5.23816 + 0.91244 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} = 0.17784 + 0.93634 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} = 0.31886 + 1.18874 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método con conductores múltiples por fase

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON CONDUCTORES MULTIPLES POR FASE

Tipo de estructura: 4136

Tension Nominal [kV]: 400

Numero de circuitos: 1 Circuito

Conductor por fase: 3 angulo de 30°

Separacion [m]: 0.4572

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.06021	r en AC [ohm / km]: 3.492106
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

-10	0
0	0
10	0
-8.65	9.45
8.65	9.45

Calcula

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.31818+1.1891i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.02007+0.33902i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: 4136

Tension Nominal [kV]: 400

Numero de circuitos: 1

Conductor por fase: 3 angulo de 30°

Separacion [m]: 0.4572

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.06021	r en AC [ohm / km]: 3.492106
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

-10	0
0	0
10	0
-8.65	9.45
8.65	9.45

Calcula

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.31813+1.1895i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.020563+0.33894i [ohm / km]



# Paladin DesignBase 5.0

## Transmission Line Constants Program v3.10.0.0 =====

```

Project No. :
Project Name:                               Date      : March 08, 2016
Title       :                               Time       : 04:32:20 AM
Drawing No. :                               Company    :
Revision No.:                               Engineer   :
Unit System : Metric
Jobfile Name: 4136
  
```

### Overhead Configuration =====

```

Frequency           = 60.00 (Hz)
Earth Resistivity   = 100.00 (ohm-meter)
Average Height Calculation : Method 1
Transposition       : Yes
  
```

### Circuits =====

```

[ 1] Circuit Name   : 4136
      From Bus      :
      To Bus        :
      Number of Phases : 3
  
```

No.	Phase	Bdl	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle	
Phase	Current	Wrs	Angle	Hght	Pos	(cm)	(cm)	(cm)	(kV)	Sep	
(deg)	(A)	(deg)	(ohm/km)	(m)	(m)				(deg)	(cm)	
1	a	3	0.05742	20.267	-10.000	3.284	n/a	1.32588	400.0	0.0	45.7
30.0	1000.000		0.0								
2	b	3	0.05742	20.778	0.000	3.284	n/a	1.32588	400.0	0.0	45.7
30.0	1000.000		0.0								
3	c	3	0.05742	20.267	10.000	3.284	n/a	1.32588	400.0	0.0	45.7
30.0	1000.000		0.0								

### Ground Wires =====

No.	Grnd	SEG	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	
Wire			(ohm/km)	Hght	Pos	(cm)		(cm)	(kV)	(deg)
				(m)	(m)					
1	G1	N	3.32582	31.050	-8.650	0.953	n/a	0.33223	0.0	0.0
2	G2	N	3.32582	31.050	8.650	0.953	n/a	0.33223	0.0	0.0

Impedance Calculation Results  
=====

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Impedances for Circuit number 1

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
	-----	-----	-----
-			
Positive Sequence	0.0197	0.3358	4.865
Zero Sequence	0.3189	1.2048	2.936

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
	-----	-----	-----
-			
Positive Sequence	0.0197	0.3358	4.865
Zero Sequence	0.3189	1.2048	2.936

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	$0.31886 + 1.1887 i$	$0.02007 + 0.3391 i$
<b>Aplicación 1</b>	$0.31818 + 1.1891 i$	$0.02007 + 0.33902 i$
<b>Aplicación Carson</b>	$0.31813 + 1.1895 i$	$0.020583 + 0.33894 i$
<b>Paladin DesignBase 5</b>	$0.3189 + 1.2048 i$	$0.0197 + 0.3358 i$

### 2.3.5 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON DOBLE CIRCUITO EN PARALELO

#### DOBLE CIRCUITO EN PARALELO, UN CONDUCTOR POR FASE

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$d_{a1c1} ; d_{a1b1} ; d_{a1b2} ; d_{a1c2} ; d_{a2b1} ; d_{a2c1} ; d_{a2b2} ; d_{a2c2} ; d_{b1c1} ; \\ d_{a1a2} ; d_{b1c2} ; d_{b1b2} ; d_{b2c1} ; d_{c1c2} ; d_{b2c2} \text{ en [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores de cada circuito

$$DMG_{a1b1c1} = \sqrt[3]{d_{a1c1} d_{a1b1} d_{b1c1}} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de cada circuito

$$RMG_{circuito} = \sqrt[3]{RMG_{conductor} (DMG_{a1b1c1})^2} \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los dos circuitos

$$DMG_{I-II} = \sqrt[9]{d_{a1a2} d_{a1b2} d_{a1c2} d_{b1a2} d_{b1b2} d_{b1c2} d_{c1a2} d_{c1b2} d_{c1c2}}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{a1b1c1}}{RMG_{conductor}} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de cada circuito

$$Z_{0p} = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{RMG_{conductor}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero de los circuitos en paralelo

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{i-ii}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero de los dos circuitos en paralelo

$$Z_0 = \frac{1}{2} (Z_{0p} + Z_{0m}) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Tipo de estructura	1201
Tensión nominal	400kV
Número de circuitos	2
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 Ω m
Cables de guarda	NO

Características de los conductores

Tipo	ACSR calibre 470 kCM 26/7
RMG	0.0088392 m
R en AC	0.13422 Ω / km

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

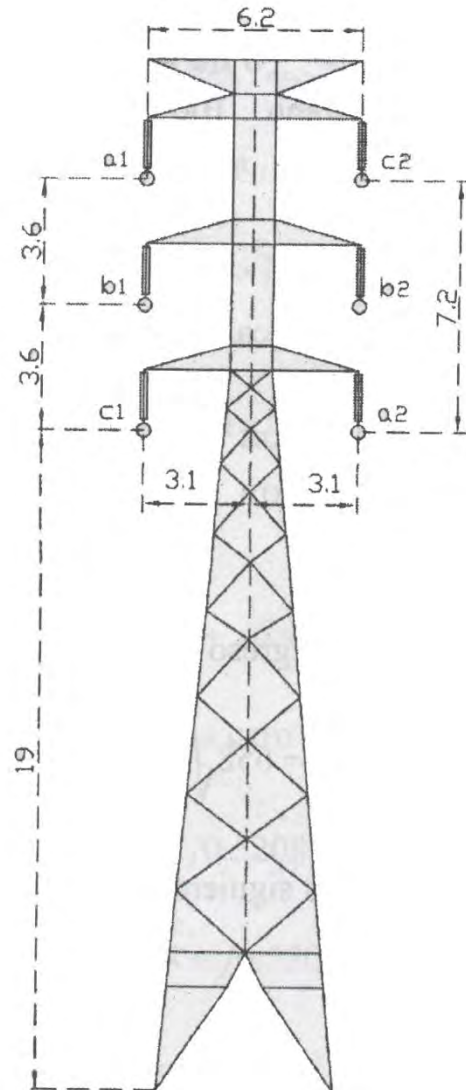
$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 [m]$$

Se calculan las distancias entre los conductores

- Distancia [ 1 ][ 2 ] = 3.600 [m]
- Distancia [ 1 ][ 3 ] = 7.200 [m]
- Distancia [ 1 ][ 4 ] = 9.502 [m]
- Distancia [ 1 ][ 5 ] = 7.169 [m]
- Distancia [ 1 ][ 6 ] = 6.200 [m]
- Distancia [ 2 ][ 3 ] = 3.600 [m]
- Distancia [ 2 ][ 4 ] = 7.169 [m]
- Distancia [ 2 ][ 5 ] = 6.200 [m]
- Distancia [ 2 ][ 6 ] = 7.169 [m]
- Distancia [ 3 ][ 4 ] = 6.200 [m]
- Distancia [ 3 ][ 5 ] = 7.169 [m]
- Distancia [ 3 ][ 6 ] = 9.502 [m]
- Distancia [ 4 ][ 5 ] = 3.600 [m]
- Distancia [ 4 ][ 6 ] = 7.200 [m]
- Distancia [ 5 ][ 6 ] = 3.600 [m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores de cada circuito

$$DMG_{a_1b_1c_1} = \sqrt[3]{d_{a_1c_1} d_{a_1b_1} d_{b_1c_1}} = 4.5357 [m]$$



Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de cada circuito

$$RMG_{circuito} = \sqrt[3]{RMG_{conductor}(DMG_{a1b1c1})^2} = 0.5665 \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los dos circuitos

$$DMG_{I-II} = \sqrt[9]{d_{a1a2} d_{a1b2} d_{a1c2} d_{b1a2} d_{b1b2} d_{b1c2} d_{c1a2} d_{c1b2} d_{c1c2}} = 7.2716 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{a1b1c1}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.13422 + 0.47052 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de cada circuito

$$Z_{0p} = r_{conductor} + 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{RMG_{conductor}} = 0.31206 + 1.65425 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero de los circuitos en paralelo

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{i-ii}} = 0.17784 + 1.07696 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia de secuencia cero de los dos circuitos en paralelo

$$Z_0 = \frac{1}{2}(Z_{0p} + Z_{0m}) = 0.244948 + 1.3656 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

## Método con doble circuito en paralelo

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON DOBLE CIRCUITO EN PARALELO

Tipo de estructura: 1201

Tension Nominal [kV]: 115

Numero de circuitos: 2 Circuitos

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0088392

r en AC [ohm / km]: 0.13422

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

-3.1	26.2
-3.1	22.6
-3.1	19
3.1	22.6
3.1	26.2

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.24495+1.3655i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.13422+0.47052i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: 1201

Tension Nominal [kV]: 115

Numero de circuitos: 2

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0088392

r en AC [ohm / km]: 0.13422

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

-3.1	26.2
-3.1	22.6
-3.1	19
3.1	22.6
3.1	26.2

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.21271+0.95347i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.13448+0.46954i [ohm / km]

Paladin DesignBase 5.0

Transmission Line Constants Program v3.10.0.0  
 =====

Project No. :  
 Project Name: Date : March 08, 2016  
 Title : Time : 04:41:52 AM  
 Drawing No. : Company :  
 Revision No.: Engineer :  
 Unit System : Metric  
 Jobfile Name: 1201

Overhead Configuration  
 =====

Frequency = 60.00 (Hz)  
 Earth Resistivity = 100.00 (ohm-meter)  
 Average Height Calculation : Method 1  
 Transposition : Yes

Circuits  
 =====

[ 1] Circuit Name : 1201  
 From Bus :  
 To Bus :  
 Number of Phases : 3

No.	Phase	Bdl	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle	
Phase	Current										
Angle	Current	Wrs	Angle	Hght	Pos					Sep	
(deg)	(A)		(ohm/km)	(m)	(m)	(cm)		(cm)	(kV)	(deg)	(cm)
1	a1	1	0.13422	22.867	-3.100	2.179	n/a	0.88392	115.0	0.0	0.0
0.0	1000.000		0.0								
2	b1	1	0.13422	19.267	-3.100	2.179	n/a	0.88392	115.0	0.0	0.0
0.0	1000.000		0.0								
3	c1	1	0.13422	15.667	-3.100	2.179	n/a	0.88392	115.0	0.0	0.0
0.0	1000.000		0.0								

[ 2] Circuit Name : C2  
 From Bus :  
 To Bus :  
 Number of Phases : 3

No.	Phase	Bdl	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle	
Phase	Current										
Angle	Current	Wrs	Angle	Hght	Pos					Sep	
(deg)	(A)		(ohm/km)	(m)	(m)	(cm)		(cm)	(kV)	(deg)	(cm)
-----											

```

1   a2   1  0.13422  15.667   3.100   2.179   n/a 0.88392  115.0   0.0   0.0
0.0 1000.000  0.0

2   b2   1  0.13422  19.267   3.100   2.179   n/a 0.88392  115.0   0.0   0.0
0.0 1000.000  0.0

3   c2   1  0.13422  22.867   3.100   2.179   n/a 0.88392  115.0   0.0   0.0
0.0 1000.000  0.0

```

Impedance Calculation Results  
=====

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Impedances for Circuit number 1

```

Siemens/km)      Resistance (ohm/km)  Reactance (ohm/km)  susceptance (Micro-
-----
-
Positive Sequence      0.1344              0.4612              3.509
Zero Sequence         0.3055              1.6693              2.017

```

Impedances for Circuit number 2

```

Siemens/km)      Resistance (ohm/km)  Reactance (ohm/km)  susceptance (Micro-
-----
-
Positive Sequence      0.1344              0.4612              3.509
Zero Sequence         0.3055              1.6692              2.017

```

Mutual Impedance between Circuit 1 and Circuit 2

```

Siemens/km)      Resistance (ohm/km)  Reactance (ohm/km)  susceptance (Micro-
-----
-
Zero Sequence         0.1711              1.1013              -.8127

```

El programa sólo despliega las impedancias propias de secuencia cero de cada circuito y la impedancia mutua entre los dos circuitos, la impedancia total cero es

$$Z_0 = \frac{1}{2}(Z_{0p} + Z_{0m}) = 0.2383 + 1.38525 i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	0.2449 + 1.3656 i	0.13422 + 0.47052 i
<b>Aplicación 1</b>	0.24495 + 1.3655 i	0.13422 + 0.47052 i
<b>Aplicación Carson</b>	0.21271 + 0.95347 i	0.13448 + 0.46954 i
<b>Paladin DesignBase 5</b>	0.2383 + 1.38525 i	0.1344 + 0.4612 i



## DOBLE CIRCUITO EN PARALELO, UN CONDUCTOR POR FASE Y DOS CABLES DE GUARDA

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$d_{a1c1} ; d_{a1b1} ; d_{a1b2} ; d_{a1c2} ; d_{a2b1} ; d_{a2c1} ; d_{a2b2} ; d_{a2c2} ; d_{b1c1} ; \\ d_{a1a2} ; d_{b1c2} ; d_{b1b2} ; d_{b2c1} ; d_{c1c2} ; d_{b2c2} \text{ en [m]}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores de cada circuito

$$DMG_{a1b1c1} = \sqrt[3]{d_{a1c1} d_{a1b1} d_{b1c1}} \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los conductores de las fases de los dos circuitos

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ab} d_{ac} d_{bc}}$$

Donde

$$d_{ab} = \sqrt[4]{d_{a1b1} d_{a1b2} d_{a2b1} d_{a2b2}}$$

$$d_{ac} = \sqrt[4]{d_{a1c1} d_{a1c2} d_{a2c1} d_{a2c2}}$$

$$d_{bc} = \sqrt[4]{d_{b1c1} d_{b1c2} d_{b2c1} d_{b2c2}}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los seis conductores del circuito

$$RMG_l = \sqrt[3]{RMG_{abc} (DMG_{abc})^2}$$

Donde

$$RMG_{abc} = \sqrt[3]{RMG_a RMG_b RMG_c}$$

Y

$$RMG_a = \sqrt{RMG_{conductor} d_{a1a2}}$$

$$RMG_b = \sqrt{RMG_{conductor} d_{b1b2}}$$

$$RMG_c = \sqrt{RMG_{conductor} d_{c1c2}}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los seis conductores y los dos cables de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[12]{d_{g1a1} d_{g1b1} d_{g1c1} d_{g1a2} d_{g1b2} d_{g1c2} d_{g2a1} d_{g2b1} d_{g2c1} d_{g2a2} d_{g2b2} d_{g2c2}}$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1g2})}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{a1b1c1}}{RMG_{conductor}} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = \frac{1}{2} r_{conductor} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3 r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Tipo de estructura	2212
Tensión nominal	230kV
Número de circuitos	2
Conductores por fase	1
Frecuencia	60 Hz
Resistividad del terreno	100 Ω m
Cables de guarda	2

Características de los conductores

Tipo	aluminio ACSR calibre 1113 kCM 54/19
RMG	1.32588 cm
R en AC	0.06021 Ω / km

Características del cable de guarda

Tipo	Acero galvanizado 3/8"
RMG	3.32232 cm
R en AC	3.49210 Ω / km

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 [m]$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$d_{a1c1} ; d_{a1b1} ; d_{a1b2} ; d_{a1c2} ; d_{a2b1} ; d_{a2c1} ; d_{a2b2} ; d_{a2c2} ; d_{b1c1} ;$$

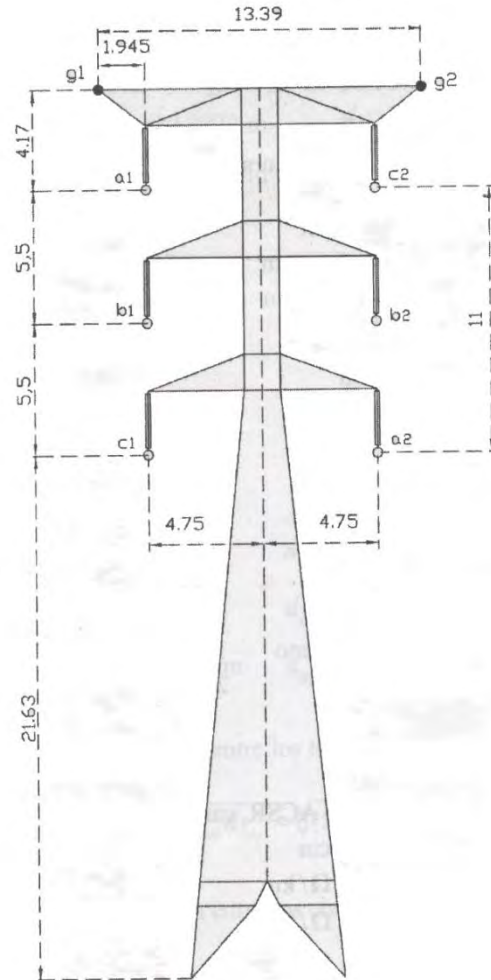
$$d_{a1a2} ; d_{b1c2} ; d_{b1b2} ; d_{b2c1} ; d_{c1c2} ; d_{b2c2} \text{ en } [m]$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores de cada circuito

$$DMG_{a1b1c1} = \sqrt[3]{d_{a1c1} d_{a1b1} d_{b1c1}} = 6.9295 [m]$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los conductores de las fases de los dos circuitos

$$DMG_{abc} = \sqrt[3]{d_{ab} d_{ac} d_{bc}} = 8.5141 [m]$$



Donde

$$d_{ab} = \sqrt[4]{d_{a1b1} d_{a1b2} d_{a2b1} d_{a2b2}} = 7.7701 \text{ [m]}$$

$$d_{ac} = \sqrt[4]{d_{a1c1} d_{a1c2} d_{a2c1} d_{a2c2}} = 10.2225 \text{ [m]}$$

$$d_{bc} = \sqrt[4]{d_{b1c1} d_{b1c2} d_{b2c1} d_{b2c2}} = 7.7701 \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los seis conductores del circuito

$$RMG_l = \sqrt[3]{RMG_{abc}(DMG_{abc})^2} = 3.0949 \text{ [m]}$$

Donde

$$RMG_{abc} = \sqrt[3]{RMG_a RMG_b RMG_c} = 0.4089 \text{ [m]}$$

Y

$$RMG_a = \sqrt{RMG_{conductor} d_{a1a2}} = 0.4389 \text{ [m]}$$

$$RMG_b = \sqrt{RMG_{conductor} d_{b1b2}} = 0.3549 \text{ [m]}$$

$$RMG_c = \sqrt{RMG_{conductor} d_{c1c2}} = 0.4389 \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los seis conductores y los dos cables de guarda

$$\begin{aligned} DMG_{lg} &= \sqrt[12]{d_{g1a1} d_{g1b1} d_{g1c1} d_{g1a2} d_{g1b2} d_{g1c2} d_{g2a1} d_{g2b1} d_{g2c1} d_{g2a2} d_{g2b2} d_{g2c2}} \\ &= 11.5769 \text{ [m]} \end{aligned}$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1g2})} = 0.2109 \text{ [m]}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = r_{conductor} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{a1b1c1}}{RMG_{conductor}} \right) = 0.06021 + 0.4719 i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = \frac{1}{2} r_{conductor} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} = 0.0301 + 0.2984 i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3 r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} = 5.23816 + 0.90598 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} = 0.17784 + 0.97177 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} = 0.33863 + 1.1611 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Método con doble circuito en paralelo e hilos de guarda

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON DOBLE CIRCUITO EN PARALELO

Tipo de estructura: 2212

Tension Nominal [kV]: 230

Numero de circuitos: 2 Circuitos

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588	RMG [m]: 0.00332232
r en AC [ohm / km]: 0.06021	r en AC [ohm / km]: 3.492106
r en DC [ohm / km]: NaN	r en DC [ohm / km]: NaN
D exterior [m]: NaN	D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar: [X] [Y]

Quitar: [X] [Y]

Calculador

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.3386+1.1609i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.06021+0.47191i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: 2212

Tension Nominal [kV]: 230

Numero de circuitos: 2

Conductor por fase

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588

r en AC [ohm / km]: 0.06021

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00332232

r en AC [ohm / km]: 3.492106

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

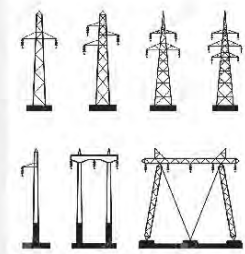
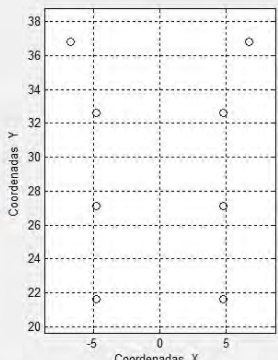
[X] [Y]

Calcular

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.1316+0.9316i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.060939+0.47073i [ohm / km]

## Paladin DesignBase 5.0

Transmission Line Constants Program v3.10.0.0

=====

Project No. :  
 Project Name: Date : March 08, 2016  
 Title : Time : 04:59:13 AM  
 Drawing No. : Company :  
 Revision No. : Engineer :  
 Unit System : Metric  
 Jobfile Name: 2212

Overhead Configuration

=====

Frequency = 60.00 (Hz)  
 Earth Resistivity = 100.00 (ohm-meter)  
 Average Height Calculation : Method 1  
 Transposition : Yes

Circuits

=====

[ 1] Circuit Name : C1  
 From Bus :  
 To Bus :  
 Number of Phases : 3

No. Phase	Bdl Current	DC RES	Avg Hght	Horz Pos	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle Sep
Angle (deg)	Current (A)	Angle (ohm/km) (deg)	(m)	(m)	(cm)		(cm)	(kV) (deg)	(cm)
1	a1	1	0.05742	29.297	-4.750	3.284	n/a 1.32588	230.0	0.0
0.0	1000.000	0.0							0.0
2	b1	1	0.05742	23.797	-4.750	3.284	n/a 1.32588	230.0	0.0
0.0	1000.000	0.0							0.0
3	c1	1	0.05742	18.297	-4.750	3.284	n/a 1.32588	230.0	0.0
0.0	1000.000	0.0							0.0

[ 2] Circuit Name : C2  
From Bus :  
To Bus :  
Number of Phases : 3

No. Phase	Bdl Current	DC RES	Avg Hght	Horz Pos	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle Sep
Angle (deg)	Current (A)	Angle (ohm/km) (deg)	(m)	(m)	(cm)		(cm)	(kV) (deg)	(cm)
1	a2	1	0.05742	18.297	4.750	3.284	n/a 1.32588	230.0	0.0
0.0	1000.000	0.0							0.0
2	b2	1	0.05742	23.797	4.750	3.284	n/a 1.32588	230.0	0.0
0.0	1000.000	0.0							0.0
3	c3	1	0.05742	29.297	4.750	3.284	n/a 1.32588	230.0	0.0
0.0	1000.000	0.0							0.0

Ground Wires  
=====

No. Grnd Wire	SEG	DC RES	Avg Hght	Horz Pos	DIA	TDR	GMR	Voltage
		(ohm/km)	(m)	(m)	(cm)		(cm)	(kV) (deg)
1	G1	N	3.32582	35.133	-6.695	0.953	n/a 0.33223	0.0 0.0
2	G2	N	3.32582	35.133	6.695	0.953	n/a 0.33223	0.0 0.0

Impedance Calculation Results  
=====

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Impedances for Circuit number 1

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
-----			
-			
Positive Sequence	0.0583	0.4621	3.523
Zero Sequence	0.3643	1.4629	2.191

Impedances for Circuit number 2

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
-----			
-			
Positive Sequence	0.0583	0.4621	3.523
Zero Sequence	0.3643	1.4629	2.191

Mutual Impedance between Circuit 1 and Circuit 2

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
-----			
-			
Zero Sequence	0.3057	0.8935	-.6636

El programa sólo despliega las impedancias propias de secuencia cero de cada circuito y la impedancia mutua entre los dos circuitos, la impedancia total cero es

$$Z_0 = \frac{1}{2}(Z_{0p} + Z_{0m}) = 0.3389 + 1.1764 i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	0.33863 + 1.1611 i	0.06021 + 0.4719 i
<b>Aplicación 1</b>	0.3386 + 1.1609 i	0.06021 + 0.47191 i
<b>Aplicación Carson</b>	0.1316 + 0.9318 i	0.060939 + 0.47073 i
<b>Paladin DesignBase 5</b>	0.3389 + 1.1764 i	0.0583 + 0.4621 i



## DOBLE CIRCUITO EN PARALELO, DOS CONDUCTORES POR FASE Y DOS CABLES DE GUARDA

Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 \text{ [m]}$$

Se calculan las distancias entre los conductores

$$\begin{aligned} & d_{a1c1} ; d_{a1b1} ; d_{a1b2} ; d_{a1c2} ; d_{a2b1} ; d_{a2c1} ; d_{a2b2} ; d_{a2c2} ; d_{b1c1} ; \\ & d_{a1a2} ; d_{b1c2} ; d_{b1b2} ; d_{b2c1} ; d_{c1c2} ; d_{b2c2} ; d_{g1g2} \text{ en [m]} \\ & d_{g1a1} ; d_{g1b1} ; d_{g1c1} ; d_{g1a2} ; d_{g1b2} ; d_{g1c2} ; d_{g2a2} ; d_{g2b2} ; d_{g2c2} \\ & d_{g2a1} ; d_{g2b1} ; d_{g2c1} \end{aligned}$$

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores de cada circuito

$$DMG_{a1b1c1} = \sqrt[3]{d_{a1c1} d_{a1b1} d_{b1c1}} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los dos conductores agrupados por fase

$$RMG_{2 \text{ conductores}} = \sqrt{RMG_{conductor} (S)} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de cada circuito

$$RMG_{circuito} = \sqrt[3]{RMG_{2 \text{ conductores}} (DMG_{a1b1c1})^2} \text{ [m]}$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los dos circuitos

$$DMG_{I-II} = \sqrt[9]{d_{a1a2} d_{a1b2} d_{a1c2} d_{b1a2} d_{b1b2} d_{b1c2} d_{c1a2} d_{c1b2} d_{c1c2}}$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los seis conductores de la línea

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{circuito} (DMG_{I-II})} \text{ [m]}$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[12]{d_{g1a1} d_{g1b1} d_{g1c1} d_{g1a2} d_{g1b2} d_{g1c2} d_{g2a1} d_{g2b1} d_{g2c1} d_{g2a2} d_{g2b2} d_{g2c2}}$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1g2})}$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = \frac{r_{conductor}}{2} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{a1b1c1}}{RMG_{2 conductor}} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = \frac{r_{conductor}}{4} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3 r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

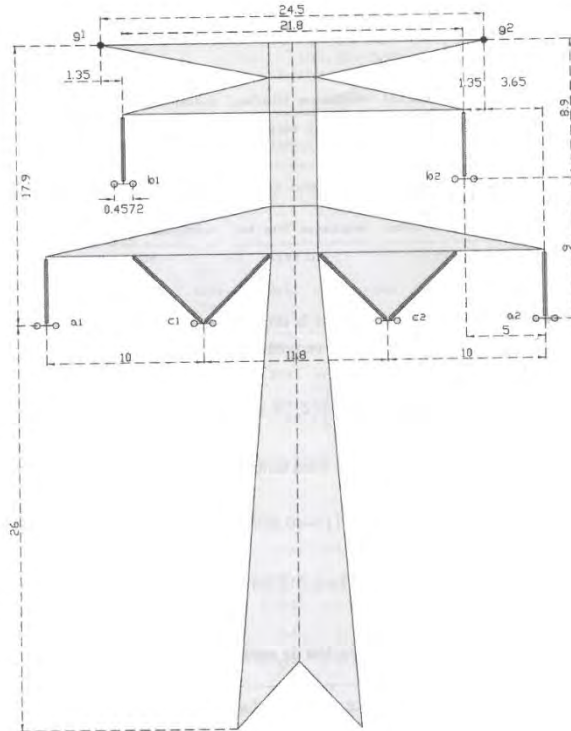
Tipo de estructura 4201  
 Tensión nominal 400kV  
 Número de circuitos 2  
 Conductores por fase 2  
 Frecuencia 60 Hz  
 Resistividad del terreno 100 Ω m  
 Cables de guarda 2

Características de los conductores

Tipo aluminio ACSR calibre 1113 kCM 54/19  
 RMG 1.32588 cm  
 R en AC 0.06021 Ω / km

Características del cable de guarda

Tipo Acero galvanizado 3/8"  
 RMG 0.332232 cm  
 R en AC 3.492106 Ω / km



Cálculo de la profundidad equivalente del regreso por tierra

$$D_e = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = \sqrt{\frac{100}{60}} \approx 850 [m]$$

Se calculan las distancias entre los conductores

1=a1 2=b1 3=c1 4=a2 5=b2 6=c2 7=g1 8=g2

- Distancia [ 1 ][ 2 ] = 10.296 [m]
- Distancia [ 1 ][ 3 ] = 10.000 [m]
- Distancia [ 1 ][ 4 ] = 31.800 [m]
- Distancia [ 1 ][ 5 ] = 28.271 [m]
- Distancia [ 1 ][ 6 ] = 21.800 [m]
- Distancia [ 1 ][ 7 ] = 18.268 [m]
- Distancia [ 1 ][ 8 ] = 33.359 [m]
- Distancia [ 2 ][ 3 ] = 10.296 [m]
- Distancia [ 2 ][ 4 ] = 28.271 [m]
- Distancia [ 2 ][ 5 ] = 21.800 [m]
- Distancia [ 2 ][ 6 ] = 19.059 [m]
- Distancia [ 2 ][ 7 ] = 9.002 [m]
- Distancia [ 2 ][ 8 ] = 24.802 [m]
- Distancia [ 3 ][ 4 ] = 21.800 [m]

Distancia [ 3 ][ 5 ] = 19.059 [m]  
 Distancia [ 3 ][ 6 ] = 11.800 [m]  
 Distancia [ 3 ][ 7 ] = 18.993 [m]  
 Distancia [ 3 ][ 8 ] = 25.492 [m]  
 Distancia [ 4 ][ 5 ] = 10.296 [m]  
 Distancia [ 4 ][ 6 ] = 10.000 [m]  
 Distancia [ 4 ][ 7 ] = 33.359 [m]  
 Distancia [ 4 ][ 8 ] = 18.268 [m]  
 Distancia [ 5 ][ 6 ] = 10.296 [m]  
 Distancia [ 5 ][ 7 ] = 24.802 [m]  
 Distancia [ 5 ][ 8 ] = 9.002 [m]  
 Distancia [ 6 ][ 7 ] = 25.492 [m]  
 Distancia [ 6 ][ 8 ] = 18.993 [m]  
 Distancia [ 7 ][ 8 ] = 24.500 [m]

Se calcula la distancia media geométrica entre los tres conductores de cada circuito

$$DMG_{a1b1c1} = \sqrt[3]{d_{a1c1} d_{a1b1} d_{b1c1}} = 10.1961 [m]$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los dos conductores agrupados por fase

$$RMG_{2 \text{ conductores}} = \sqrt{RMG_{conductor} (S)} = 0.0778 [m]$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los tres conductores de cada circuito

$$RMG_{circuito} = \sqrt[3]{RMG_{2 \text{ conductores}} (DMG_{a1b1c1})^2} = 2.0078 [m]$$

Cálculo de la distancia media geométrica entre los dos circuitos

$$DMG_{I-II} = \sqrt[9]{d_{a1a2} d_{a1b2} d_{a1c2} d_{b1a2} d_{b1b2} d_{b1c2} d_{c1a2} d_{c1b2} d_{c1c2}} = 21.8359 [m]$$

Cálculo del radio medio geométrico del conductor equivalente a los seis conductores de la línea

$$RMG_1 = \sqrt[3]{RMG_{circuito} (DMG_{I-II})} = 6.6213 [m]$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$DMG_{lg} = \sqrt[12]{d_{g1a1} d_{g1b1} d_{g1c1} d_{g1a2} d_{g1b2} d_{g1c2} d_{g2a1} d_{g2b1} d_{g2c1} d_{g2a2} d_{g2b2} d_{g2c2}} = 20.0964 [m]$$

Cálculo del radio medio geométrico del cable equivalente a los dos cables de guarda

$$RMG_{grupo_g} = \sqrt{RMG_g(d_{g1} g_2)} = 0.2853 [m]$$

Cálculo de impedancia de secuencia positiva

$$Z_1 = \frac{r_{conductor}}{2} + (0.17361 i) \left( \log \frac{DMG_{a1b1c1}}{RMG_2 conductor} \right) = 0.0301 + 0.3676 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero del grupo de conductores

$$Z'_{0l} = \frac{r_{conductor}}{4} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_l} = 0.01505 + 0.25113 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de la impedancia propia de secuencia cero de los cables de guarda

$$Z'_{0g} = \frac{3 r_g}{2} + (0.52083 i) \log \frac{DMG_{lg}}{RMG_{grupo_g}} = 5.23816 + 0.9624 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Cálculo de impedancia mutua de secuencia cero entre el grupo de conductores y los cables de guarda

$$Z_{0m} = 0.17784 + (0.52083 i) \log \frac{D_e}{DMG_{lg}} = 0.17784 + 0.84702 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Finalmente para obtener la impedancia de secuencia cero

$$Z_0 = Z'_{0l} + \frac{(Z'_{0g})(Z_{0m})}{Z'_{0g} + Z_{0m}} = 0.290087 + 1.01005 i \quad \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Método de circuito en paralelo, dos conductores por fase y dos cables de guarda

Impedancia\_Lines\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

LINEA CON DOBLE CIRCUITO EN PARALELO

Tipo de estructura: 4201

Tension Nominal [kV]: 400

Numero de circuitos: 2 Circuitos

Conductor por fase: 2 angulo de 0°

Separacion [m]: 0.4572

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588

r en AC [ohm / km]: 0.06021

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00332232

r en AC [ohm / km]: 3.492106

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

15.9 35

-10.9 26

-5.9 26

15.9 26

10.9 35

5.9 26

-12.25 43.9

12.25 43.9

Calcular

Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.29006+1.0099i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.030105+0.36755i [ohm / km]

## Método de Carson

Impedancia\_Lineas\_1

### IMPEDANCIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA

METODO CARSON

Tipo de estructura: 4201

Tension Nominal [kV]: 400

Numero de circuitos: 2

Conductor por fase: 2 angulo de 0°

Separacion [m]: 0.4572

Frecuencia [Hz]: 60

Resistividad del Terreno [ohm-m]: 100

Cables de guarda: 2 cables de guarda

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.0132588

r en AC [ohm / km]: 0.06021

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

TIPOS DE CONDUCTORES

RMG [m]: 0.00332232

r en AC [ohm / km]: 3.492106

r en DC [ohm / km]: NaN

D exterior [m]: NaN

Insertar Coordenadas

Sistema Internacional

Guardar Quitar

[X] [Y]

15.9 26  
-10.9 35  
-5.9 26  
15.9 26  
10.9 35  
5.9 26  
-12.25 43.9  
12.25 43.9

Calcula Nueva Linea Archivo

IMPEDANCIA (0) Z0: 0.090012+0.85353i [ohm / km]

IMPEDANCIA (+) Z1: 0.030576+0.36654i [ohm / km]

## Paladin DesignBase 5.0

Transmission Line Constants Program v3.10.0.0

=====

Project No. :  
 Project Name: Date : March 08, 2016  
 Title : Time : 05:16:05 AM  
 Drawing No. : Company :  
 Revision No. : Engineer :  
 Unit System : Metric  
 Jobfile Name: 4201

### Overhead Configuration

=====

Frequency = 60.00 (Hz)  
 Earth Resistivity = 100.00 (ohm-meter)  
 Average Height Calculation : Method 1  
 Transposition : Yes

### Circuits

=====

[ 1 ] Circuit Name : C1  
 From Bus :  
 To Bus :  
 Number of Phases : 3

No. Phase	Bdl	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle
Phase	Current								
Angle	Current	Angle	Hght	Pos					Sep

(deg)	(A)	(ohm/km) (deg)	(m)	(m)	(cm)	(cm)	(kV)	(deg)	(cm)
1	a1	2 0.05742	24.000	-15.900	3.284	n/a 1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000	0.0							
2	b1	2 0.05742	33.000	-10.900	3.284	n/a 1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000	0.0							
3	c1	2 0.05742	24.000	-5.900	3.284	n/a 1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000	0.0							

```
[ 2]   Circuit Name   :   C2
      From Bus       :
      To Bus         :
      Number of Phases :   3
```

No. Phase Bdl	DC RES	Avg	Horz	DIA	TDR	GMR	Voltage	Bundle	
Phase Current	Wrs	Hght	Pos					Sep	
Angle Current	Angle	(m)	(m)	(cm)	(cm)	(cm)	(kV)	(deg)	(cm)
(deg)	(A)	(ohm/km)	(deg)						
1	a2	2 0.05742	24.000	15.900	3.284	n/a 1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000	0.0							
2	b2	2 0.05742	33.000	10.900	3.284	n/a 1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000	0.0							
3	c2	2 0.05742	24.000	5.900	3.284	n/a 1.32588	400.0	0.0	45.7
0.0	1000.000	0.0							

Ground Wires  
=====

No. Grnd Wire	SEG	DC RES	Avg Hght	Horz Pos	DIA	TDR	GMR	Voltage	
		(ohm/km)	(m)	(m)	(cm)		(cm)	(kV)	(deg)
1	G1	N 3.32582	42.900	-12.250	0.953	n/a	0.33223	0.0	0.0
2	G2	N 3.32582	42.900	12.250	0.953	n/a	0.33223	0.0	0.0

Impedance Calculation Results  
=====

Sequence Impedances Assuming Complete Transposition

Impedances for Circuit number 1

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
Positive Sequence	0.0291	0.3627	4.447
Zero Sequence	0.3058	1.2963	2.517

Impedances for Circuit number 2

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
-	-----	-----	-----
Positive Sequence	0.0291	0.3627	4.447
Zero Sequence	0.3058	1.2963	2.517

Mutual Impedance between Circuit 1 and Circuit 2

Siemens/km)	Resistance (ohm/km)	Reactance (ohm/km)	susceptance (Micro-
-	-----	-----	-----
Zero Sequence	0.2752	0.7617	-.6198

El programa sólo despliega las impedancias propias de secuencia cero de cada circuito y la impedancia mutua entre los dos circuitos, la impedancia total cero es

$$Z_0 = \frac{1}{2}(Z_{0p} + Z_{0m}) = 0.2905 + 1.029 i \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Tabla de comparación de resultados

	Impedancia Cero $Z_0$	Impedancia Positiva $Z_1$
<b>Cálculos teóricos</b>	0.290087 + 1.01005 i	0.0301 + 0.3676 i
<b>Aplicación 1</b>	0.29006 + 1.0099 i	0.030105 + 0.36755 i
<b>Aplicación Carson</b>	0.090012 + 0.85353 i	0.030576 + 0.36654 i
<b>Paladin DesignBase 5</b>	0.2905 + 1.029 i	0.0292 + 0.3627 i



## CAPÍTULO III: TRANSFORMADORES

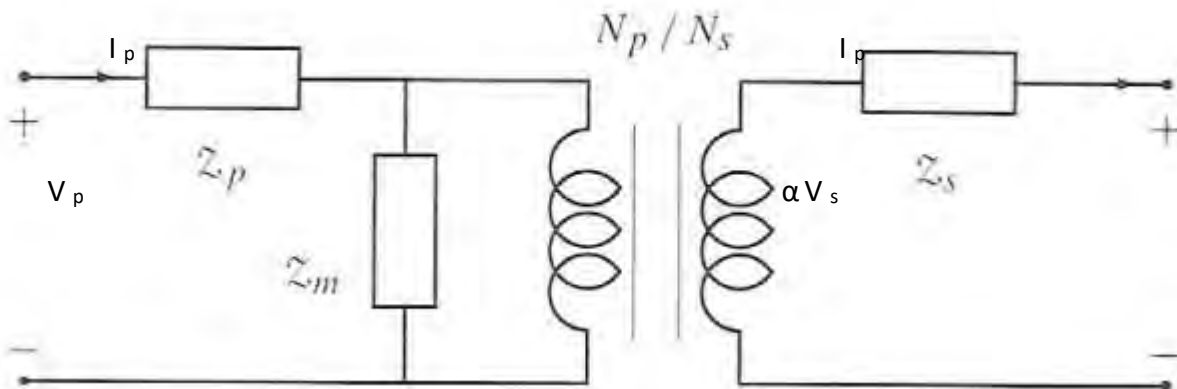


Los transformadores de potencia son elementos importantes en un sistema de potencia, son enlaces entre los generadores y las líneas de transmisión y entre líneas de diferentes voltajes, hay transformadores elevadores y reductores.

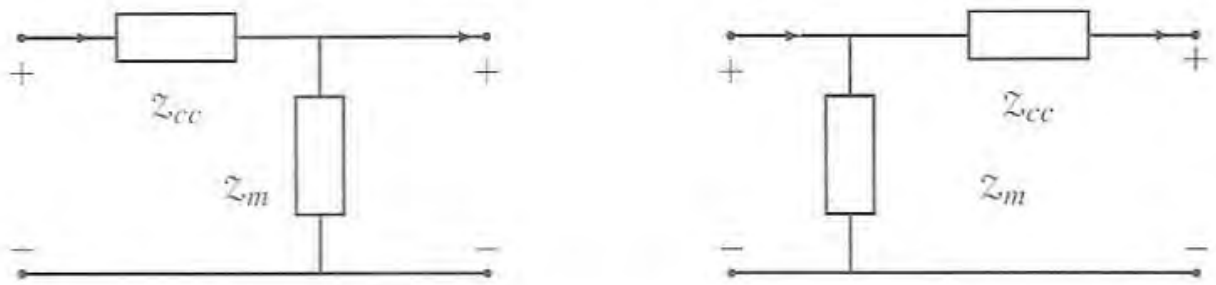
Los transformadores reductores bajan los voltajes a niveles de distribución y finalmente a los requeridos para el uso residencial. Son altamente eficientes y muy confiables.

### 3.1 TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

El circuito equivalente de un transformador monofásico real de relación  $\eta = N_p/N_s$  se muestra en la siguiente figura, en la cual se muestra la impedancia serie  $Z_p$  y  $Z_s$  que modelan la resistencia y la reactancia así como la impedancia en derivación  $Z_m$ , cuya parte resistiva tiene en cuenta las pérdidas en el núcleo y cuyas reactancia modelan la corriente de magnetización en vacío.



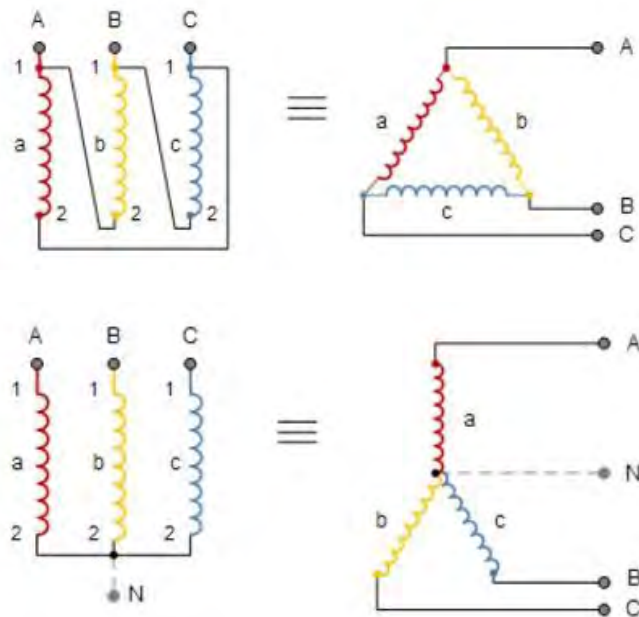
Mientras que el ensayo en vacío suministra el valor de  $Z_m$  el ensayo en corto circuito proporciona una impedancia serie conjunta  $Z_{cc}$  que en por unidad resulta la suma de las impedancias  $Z_p$  y  $Z_s$ , en la práctica carece de utilidad separar las impedancias en lugar de la bipuerta T y se utilizan indistintamente las más simples. En régimen permanente equilibrado de un sistema de potencia se ignora la  $Z_m$  porque su valor es muy elevado.



Circuitos simplificados en p.u. de un transformador.

### 3.2 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Un transformador trifásico se obtiene interconectado tres transformadores monofásicos sobre un único núcleo magnético y se pueden adoptar diferentes topologías, cada devanado de un transformador puede conectarse eléctricamente en estrella o en delta lo que da lugar a diferentes relaciones de transformación.



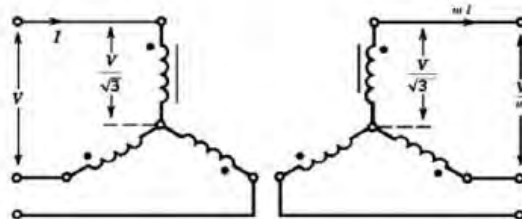
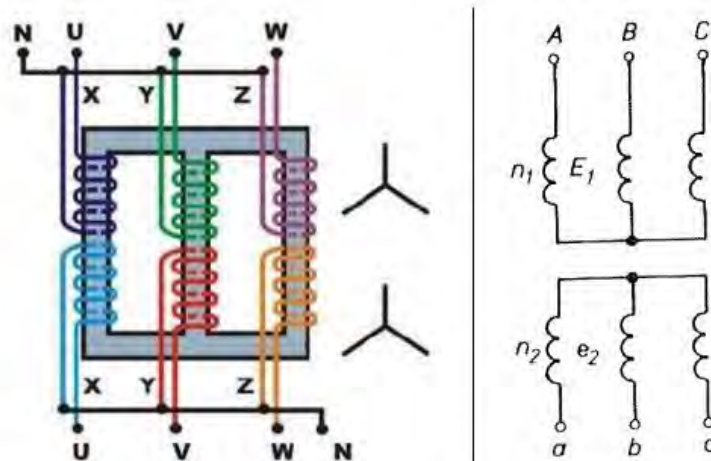
### 3.3 CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS

#### 3.3.1 CONEXIÓN ESTRELLA – ESTRELLA

En esta conexión el transformador permite disponer del neutro tanto del lado de alta tensión como el de baja y conectar así un neutro del primario del transformador con el neutro de la fuente de energía como el generador o alternador, la corriente de línea es la misma que la que circula por cada devanado del transformador. La relación del transformador se determina como el cociente de tensiones de línea del primario y el secundario en vacío, así como el cociente entre el número de espiras de una fase del primario y del secundario.

$$\text{relación del transformador} = a = \frac{V_{AB}}{v_{ab}} = \frac{n_1}{n_2}$$

PRIMARIO				SECUNDARIO			
LÍNEA		FASE		LÍNEA		FASE	
VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE
V	I	$\frac{V}{\sqrt{3}}$	I	$\frac{V}{a}$	a I	$\frac{V}{a \sqrt{3}}$	a I



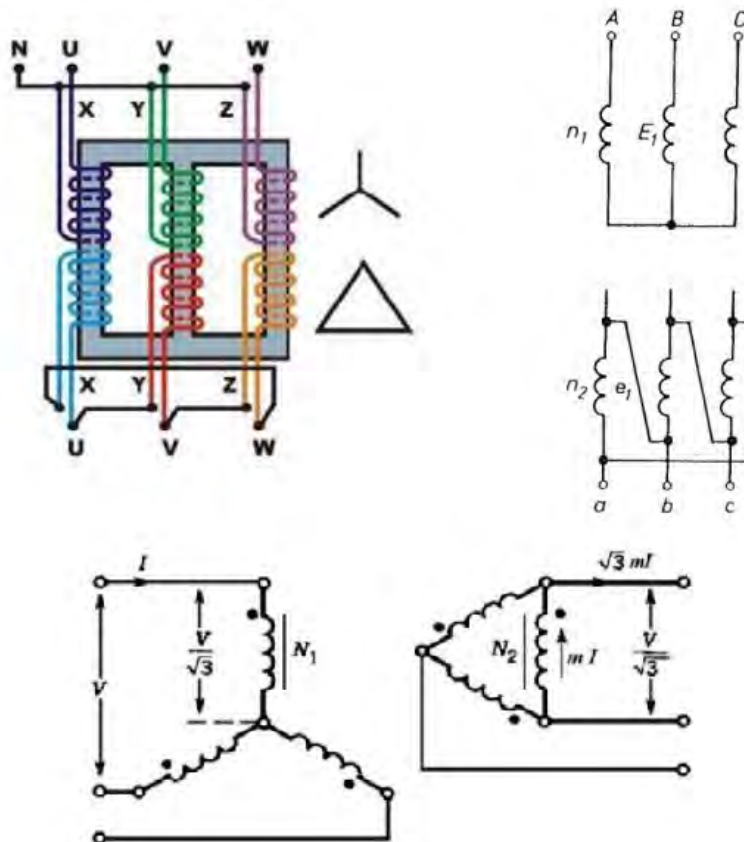
### 3.3.2 CONEXIÓN ESTRELLA – DELTA

En esta conexión las tres fases del lado primario están conectadas en estrella y las del secundario en delta, es utilizada para reducir la tensión en el lado del secundario, aquí el voltaje de línea del primario está relacionado con el voltaje de fase  $V_{LL} = \sqrt{3} V_{LN}$ , mientras que en el lado del secundario  $V_{LL} = V_{LN}$

La relación de transformación será el cociente de las tensiones de fase del primario entre las del secundario

$$a = \frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

PRIMARIO				SECUNDARIO			
LÍNEA		FASE		LÍNEA		FASE	
VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE
V	I	$\frac{V}{\sqrt{3}}$	I	$\frac{V}{a \sqrt{3}}$	$\sqrt{3} a I$	$\frac{V}{\sqrt{3} a}$	a I



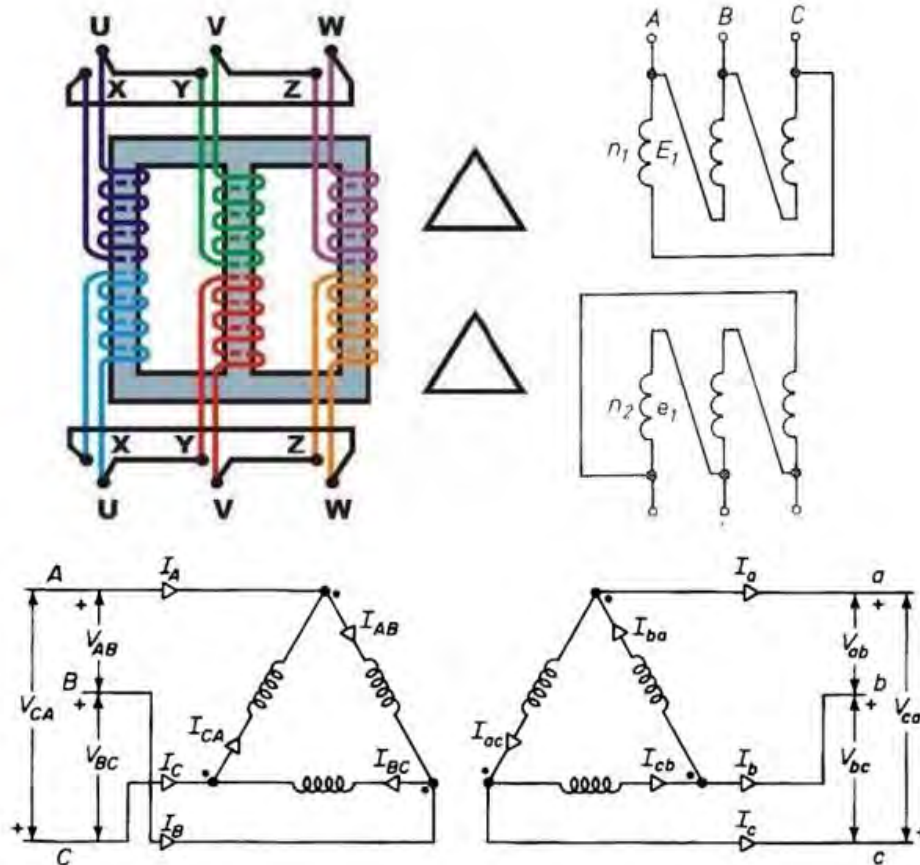
### 3.3.3 CONEXIÓN DELTA – DELTA

Este tipo de conexión se utiliza cuando se quiere recuperar la caída de tensión por longitud de los alimentadores, debido a cierta distancia del circuito alimentador se tiene una caída en el voltaje de suministro por lo que es necesario transformar esa energía para recuperar esas pérdidas.

Los voltajes de línea y el número de espiras del primario y secundario guardan la siguiente relación

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

PRIMARIO				SECUNDARIO			
LÍNEA		FASE		LÍNEA		FASE	
VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE
V	I	V	$\frac{I}{\sqrt{3}}$	$\frac{V}{a}$	a I	$\frac{V}{a}$	$\frac{a I}{\sqrt{3}}$



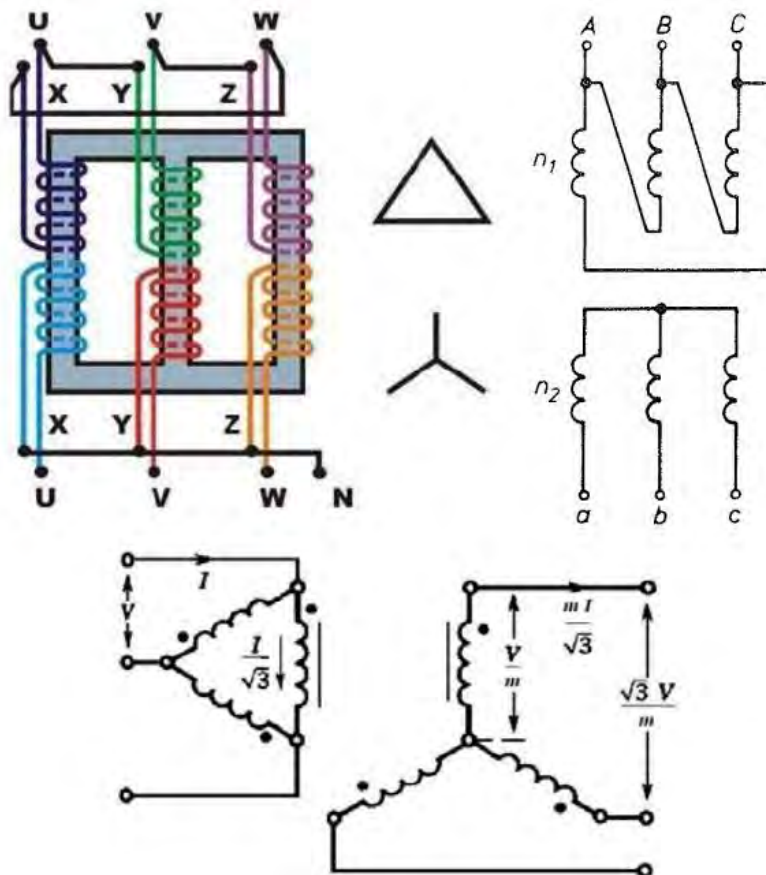
### 3.3.4 CONEXIÓN DELTA – ESTRELLA

Esta conexión se utiliza en los sistemas de potencia para elevar voltajes de generación o de transmisión y en los sistemas de distribución para alimentación de fuerza y alumbrado. También se emplea en aquellos sistemas de transmisión en que es necesario elevar voltajes de generación. En sistemas de distribución es conveniente su uso debido a que pueden tener dos voltajes diferentes, de línea y de fase a neutro.

Los voltajes primarios de línea y de fase son iguales  $V_L = V_\phi$

La relación entre las tensiones de fase y el número de espiras  $\frac{N_1}{N_2} = a$

PRIMARIO				SECUNDARIO			
LÍNEA		FASE		LÍNEA		FASE	
VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE	VOLT	CORRIENTE
V	I	V	$\frac{I}{\sqrt{3}}$	$\frac{\sqrt{3}}{a} V$	$\frac{a I}{\sqrt{3}}$	$\frac{V}{a}$	$\frac{a I}{\sqrt{3}}$



## Ejemplo

Se tiene un transformador trifásico enfriado por aceite que en su devanado primario está conectado en delta y tiene 13800 volts y 2879 espiras. Calcular el voltaje de fase y de línea que se tiene en el secundario conectado en estrella y tiene 53 espiras.

Se tiene que la relación de transformación es

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{2879}{53} = 54.3207$$

Y el voltaje de línea del lado secundario

$$V_{L2} = \frac{\sqrt{3} V}{a} = \frac{\sqrt{3} * 13800}{54.32} = 440.027 \text{ [v]}$$

$$V_{f2} = \frac{V}{a} = \frac{13800}{54.32} = 254.05 \text{ [v]}$$

transformadores

DELTA - ESTRELLA

Relacion de transformacion  
a = 2879 / 53

Voltaje lado Primario  
 VOLTAJE DE LINEA 13800  
 VOLTAJE DE FASE 13800

Corriente lado Primario  
 CORRIENTE DE LINEA 3  
 CORRIENTE DE FASE 1.73205

CALCULAR

Voltaje lado Secundario  
CORRIENTE DE LINEA 440.022  
VOLTAJE DE FASE 254.047

Corriente lado Secundario  
CORRIENTE DE LINEA 94.0863  
CORRIENTE DE FASE 94.0863



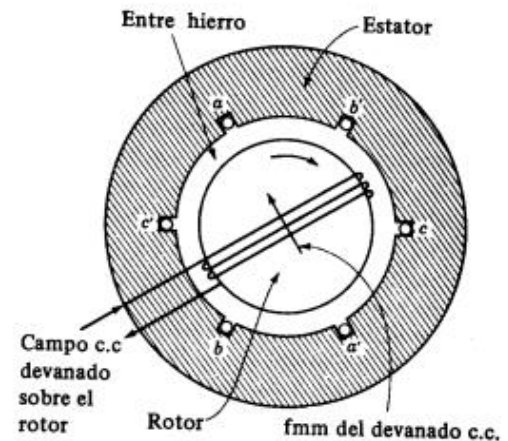


## CAPÍTULO IV: MÁQUINAS SÍNCRONAS

Las máquinas síncronas son un elemento importante en los sistemas eléctricos de potencia, la máquina síncrona que opera como un generador de corriente alterna o también conocido como alternador, transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

### 4.1 GENERACIÓN TRIFÁSICA

En la figura de al lado se muestra un generador trifásico elemental en una vista del rotor cilíndrico y la sección transversal del estator. Los lados opuestos de una bobina que es casi rectangular, están en las ranuras a y a', también en bobinas análogas b y b', c y c'. Los lados en las bobinas en la ranura a, b y c están separadas 120°. Los conductores que se muestran en las ranuras indican un embobinado y están en serie con las bobinas idénticas adyacentes a y a', b y b', c y c' y son iguales entre sí excepto por su localización alrededor de su armadura.



El rotor cilíndrico tiene un embobinado y la dirección del flujo se establece por la corriente en el enrollado del motor en la forma que se indica, cuando el rotor se desplaza por el movimiento se inducen voltajes en las bobinas del estator y se produce un ciclo de voltaje en cada bobina para cada revolución del rotor de dos polos. El número de ciclos por revolución es igual al número de pares de polos, siendo  $p$  el número de polos en el rotor y  $N$  la velocidad del rotor en revoluciones por minuto, la frecuencia del voltaje generado es

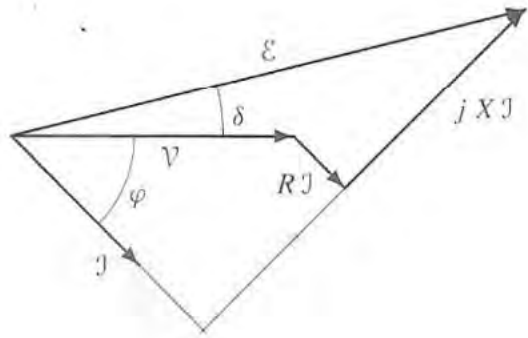
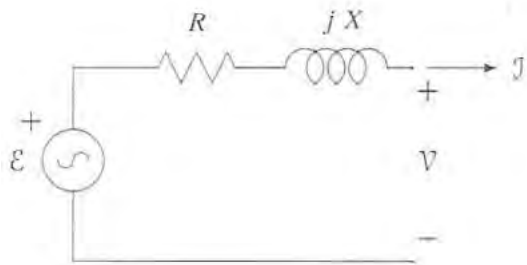
$$f = \frac{p}{120} N \text{ [Hz]}$$

### 4.2 MODELO EQUIVALENTE

El generador proporciona una tensión llamada fuerza electromotriz o FEM y es inferior a la generada en vacío, esto debido a la caída de tensión causada por la resistencia de las bobinas del estator y la reactancia que presentan las mismas, incluyendo la reactancia de dispersión y la reactancia de inducido.

El generador se comporta como una fuente real de tensión con una tensión en vacío o FEM de valor  $\varepsilon = E \angle \delta$  y una impedancia interna  $Z = R + j X_s$ , siendo  $X_s$  la reactancia síncrona.





Entonces en las terminales del generador se obtiene una tensión

$$V = \varepsilon - (R + jX_s)I$$

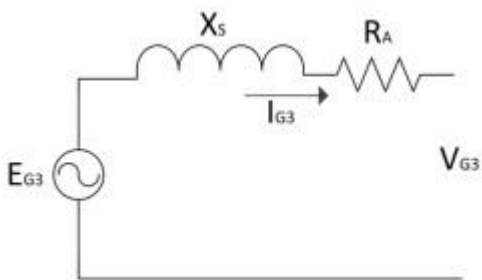
$$V \angle 0^\circ = E \angle \delta - (R + jX_s)I \angle -\varphi$$

En donde  $X_s$  es la Reactancia síncrona.

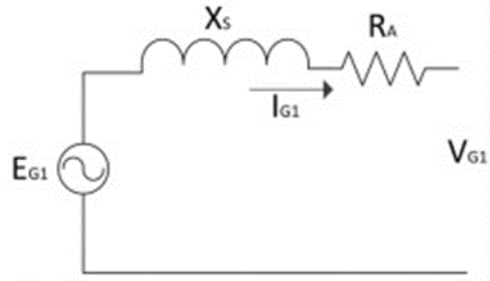
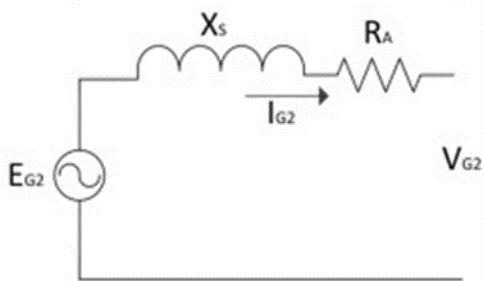
La reactancia síncrona de un generador es una impedancia interna como la resistencia R, por lo general el valor de  $X_s$  es mucho mayor que R, por lo consiguiente se puede omitir la resistencia.

La potencia de salida aproximada del generador es

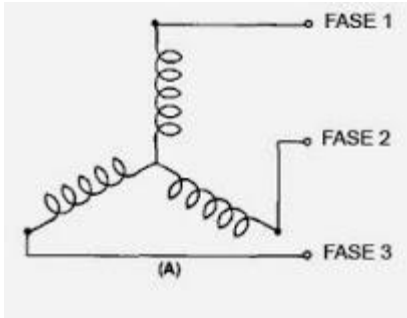
$$P_o = 3 V_a I_a \cos \theta$$



En generadores trifásicos podemos hacer el análisis con el modelo equivalente ya que los voltajes y fases son los mismos excepto que están desfasados 120°.

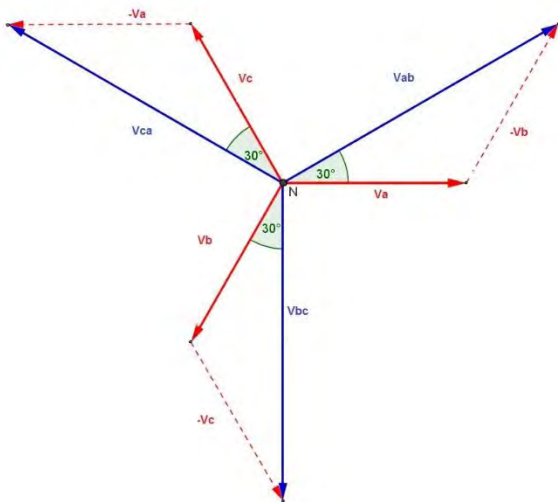


### 4.3 CONEXIONES



(A) Conexión Estrella

Los voltajes de línea son mayores que los voltajes de fase por un factor de raíz de 3 y están adelantados por 30° a estos últimos.



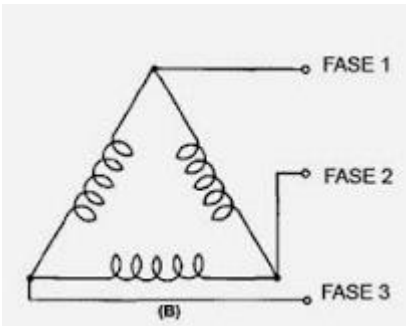
$$V_L = \sqrt{3} V_f$$

$$V_f = |V_{an}| = |V_{bn}| = |V_{cn}|$$

$$V_L = |V_{ab}| = |V_{bc}| = |V_{ca}|$$

Voltaje de Fase	Voltaje de Línea
$V_{an} = V_f \angle 0^\circ$	$V_{ab} = \sqrt{3} V_f \angle 30^\circ$
$V_{bn} = V_f \angle -120^\circ$	$V_{bc} = V_f \angle +120^\circ$
$V_{cn} = V_f \angle +120^\circ$	$V_{ca} = V_f \angle +120^\circ$

(B) Conexión Delta



Se une el final de cada bobina con el principio de las siguiente formando un sistema cerrado, en este caso no hay punto neutro.

$$V_{ab} = |V_{ab}| \angle 0^\circ$$

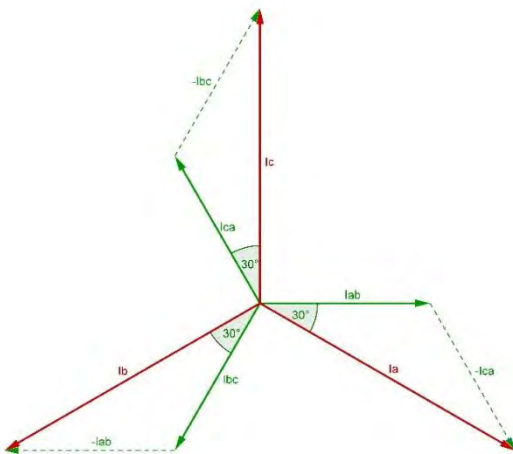
$$V_{bc} = |V_{bc}| \angle -120^\circ$$

$$V_{ca} = |V_{ca}| \angle +120^\circ$$

$$I_L = \sqrt{3} I_f$$

$$I_a = \sqrt{3} I_{AB} \angle -30^\circ$$

$$I_b = \sqrt{3} I_a \angle -120^\circ$$



$$I_c = \sqrt{3} I_a \angle + 120^\circ$$

A partir del circuito equivalente el comportamiento en las terminales de los generadores síncronos depende del tipo de carga, puesto que  $E_a$  y  $X_s$  son constantes el voltaje en las terminales depende de la magnitud de la corriente de la carga y de su factor de potencia.

1. Si se presentan cargas en atraso o cargas de potencia reactiva inductivas a un generador el voltaje de fase decrece de manera significativa.
2. Si se presentan cargas con factores de potencia unitarios o sin potencia reactiva a un generador, se produce una pequeña disminución en voltaje de fase.
3. Si se añaden cargas en adelanto o cargas de potencia reactiva capacitivas a un generador el voltaje de fase aumentará.

### Regulación de Voltaje

Es la razón de cambio en el voltaje en las terminales desde el voltaje sin carga hasta plena carga, donde  $E_a$  es el voltaje sin carga y  $V_a$  es el voltaje en las terminales a plena carga, la regulación porcentual del voltaje es

$$RV\% = \frac{E_a - V_a}{V_a} * 100$$

### Ejemplo

Un generador síncrono con seis polos de 480 V, a 50 Hz conectado en Y, tiene una reactancia síncrona por fase de  $1.0 \Omega$ . Su corriente de inducido a plena carga es de 60 A con un factor de potencia de 0.8 en retraso. La corriente de campo está ajustada de tal manera que el voltaje en las terminales es = 480 V

- A. ¿Cuál es la velocidad de rotación de este generador?
  - B. Si se cumplen los siguientes supuestos: ¿Cuál es el voltaje en las terminales del generador?
    1. Está cargado con una corriente nominal con un factor de potencia de 0.8 en retraso
    2. Está cargado con una corriente nominal con un factor de potencia de 1.0
    3. Está cargado con una corriente nominal con un factor de potencia de 0.8 en adelanto
  - C. ¿Cuáles la regulación de voltaje de este generador con los factores de potencia antes mencionados?
- A)

$$f = \frac{p N}{120} [Hz]$$

$$N = \frac{120 * (50 Hz)}{6 polos} = 1000 [rpm]$$

B)

Si  $V_\phi = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = 277 \text{ v}$ , en vacío la corriente de campo es cero, por lo que la caída de voltaje de reacción del inducido es cero debido que  $I_A=0$  y el voltaje  $E_A = V_\phi = 277 \text{ v}$ ; el voltaje interno sólo varía cuando cambia la corriente de campo y puesto que se ajusta y se deja fija, la magnitud del voltaje interno generado es  $E_A= 277 \text{ v}$ .

1. Para un factor de potencia 0.8 en atraso

$$(277 \text{ V})^2 = [V_\phi + (1.0 \ \Omega) (60 \text{ A}) \sin 36.87^\circ]^2 + [(1.0) (60 \text{ A}) \cos 36.87^\circ]^2$$

$$76729 = (V_\phi + 36)^2 + 2304$$

$$74425 = (V_\phi + 36)^2$$

$$272.8 = V_\phi + 36$$

$$V_\phi = 236.8 \text{ V}$$

Y como está conectado en estrella  $V_L = \sqrt{3} V_\phi = 410 \text{ v}$

2. Para un factor de potencia 1.0

$$(277 \text{ V})^2 = [V_\phi]^2 + [(1.0 \ \Omega) (60 \text{ A})]^2$$

$$76729 = (V_\phi)^2 + 3600$$

$$(V_\phi)^2 = 73129$$

$$V_\phi = 270.4 \text{ V}$$

Y como está conectado en estrella  $V_L = \sqrt{3} V_\phi = 468.4 \text{ v}$

3. Para un factor de potencia 0.8 en adelanto

$$(277 \text{ V})^2 = [V_\phi - (1.0 \ \Omega) (60 \text{ A}) \sin 36.87^\circ]^2 + [(1.0) (60 \text{ A}) \cos 36.87^\circ]^2$$

$$76729 = (V_\phi - 36)^2 + 2304$$

$$74425 = (V_\phi - 36)^2$$

$$272.8 = V_\phi - 36$$

$$V_\phi = 308.8 \text{ V}$$

C)

1. Caso de factor de potencia en retraso:  $VR \% = \frac{480-410}{410} * 100 = 17.1\%$

2. Caso de factor de potencia unitario:  $VR \% = \frac{480-468}{468} * 100 = 2.6\%$

3. Caso de factor de potencia en adelanto:  $VR \% = \frac{480-535}{535} * 100 = 10.3\%$

Tipo de Generadores

Tipo de Conexion: **Estrella**

Potencia S [kVA]: **49883**

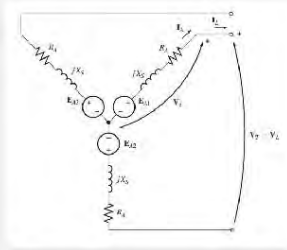
Voltaje L [V]: **480**

Voltaje f [V]: **277.128**

Corriente L [A]: **60**

Corriente f [A]: **60**

**Limpiar** **Calcular**



Circuito con carga

Ea [V]: **277**

Xs [ohm]: **1**

Ia [A]: **60**

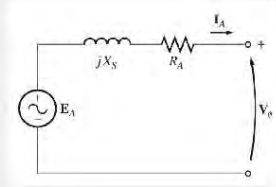
atraso  unidad  adelanto

F.P. [%]: **80**

**Limpiar** **Calcular**

Voltaje f [V]: **236.809**

P salida [kW]: **34100.6**



Circuito Equivalente sin Carga

Zs [ohm]

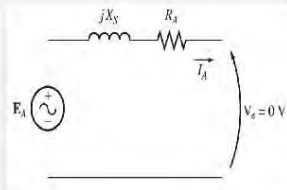
Xs [ohm]

Ra [ohm]

Ea [V]

Ia [A]

**Limpiar** **Calcular**



Regulacion de Voltaje

Ea [V]: **480** Voltaje [V]: **410**

RV [%]: **17.0732**

**Limpiar** **Calcular**

F [Hz]: **50**

Ns [rpm]: **1000**

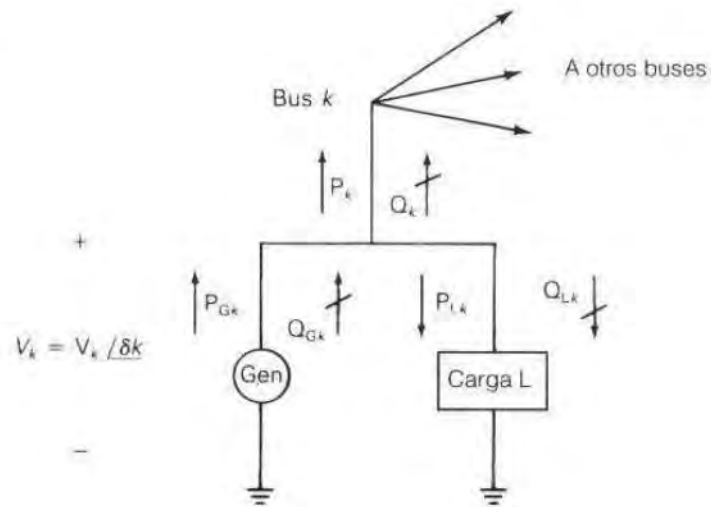
# Polos: **6**

**Limpiar** **Calcular**

## CAPÍTULO V: FLUJO DE POTENCIA



El flujo de potencia sirve para calcular la magnitud del voltaje y el ángulo de fase en cada bus de un sistema de potencia en condiciones de estado estable trifásico, así como pérdidas en el sistema. Hay cuatro variables asociadas a cada bus  $k$ : magnitud de voltaje  $V_k$ , ángulo de fase  $\delta_k$ , potencia neta real  $P_k$ , potencia reactiva  $Q_k$ . La potencia entregada al bus  $k$  se separa en generación y carga

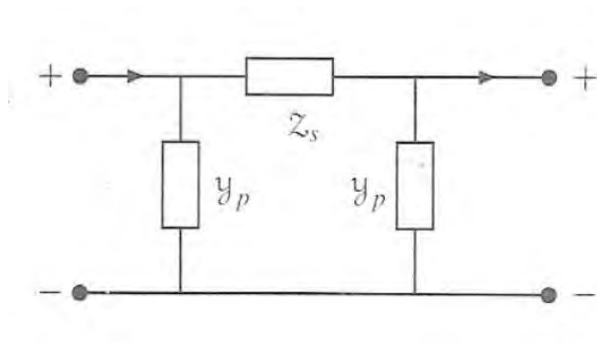
$$P_k = P_{Gk} - P_{Lk} \quad Y \quad Q_k = Q_{Gk} - Q_{Lk}$$


Los bus  $k$  se clasifican en tres tipos

- Bus Compensador : Es una referencia para la cual el voltaje y el ángulo son  $1.0 \angle 0^\circ$  en por unidad y se calcula  $P$  y  $Q$
- Bus de Carga:  $P_k$  y  $Q_k$  son datos de entrada y se calcula el  $V_k$  y  $\delta_k$
- Bus de Voltaje Controlado:  $P_k$  y  $V_k$  son datos de entrada y se calcula el  $Q_k$  y  $\delta_k$  como por ejemplo: Generadores, Capacitores en derivación desconectables. Los límites de VARs máximo y mínimo  $Q_{Gkmax}$  y  $Q_{Gkmin}$  que suministra este equipo son también datos de entrada

## 5.1 MODELADO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La línea de transmisión será representada por su equivalente modelo  $\pi$  nominal

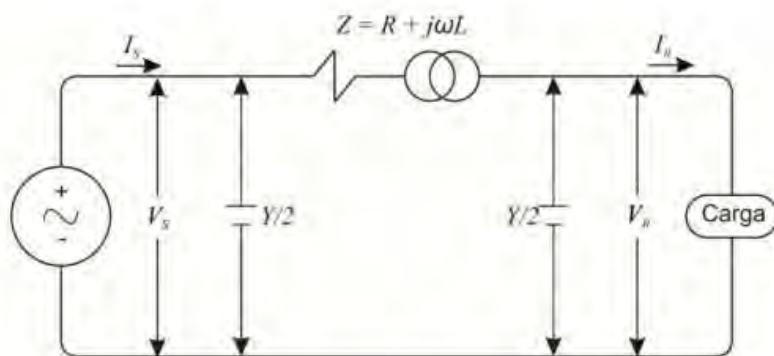


Para líneas de hasta 200 km puede utilizarse la siguiente aproximación

$$Z_s \approx Z_1 l = R + jX \qquad Y_p \approx \frac{Y_1 l}{2} = j \frac{B_c}{2}$$

Para parámetros concentrados la impedancia serie y admitancia en paralelo se obtienen multiplicando los valores unitarios respectivos por la longitud de la línea.

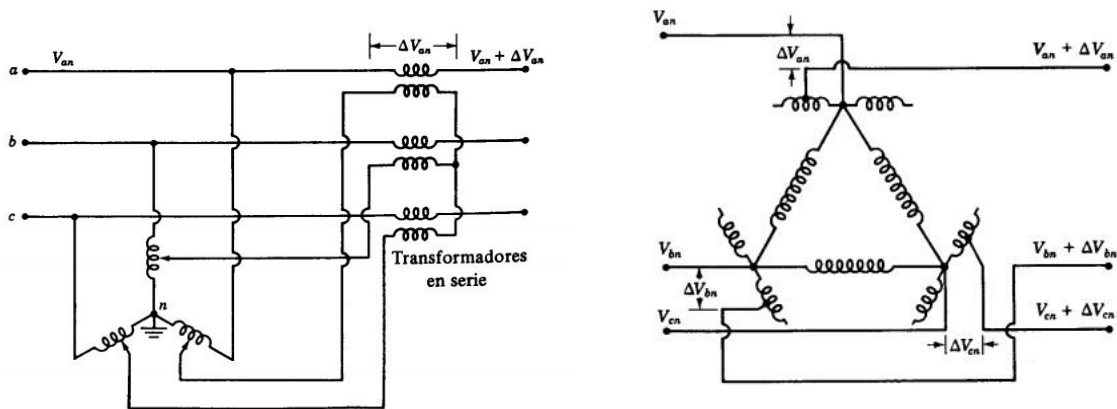
Para líneas aún más cortas de menores valores de tensión se puede despreciar incluso el efecto capacitivo de la línea haciendo  $Y_p \approx 0$  y sólo hacer los cálculos de potencia con el valor de la impedancia en serie



## 5.2 MODELADO DE TRANSFORMADORES

Los transformadores son un elemento adicional para controlar el flujo de potencia real y reactiva. Es un elemento del sistema de potencia que cambia el voltaje de un nivel a otro; un claro ejemplo es el transformador que convierte el voltaje de un generador al voltaje de línea de transmisión, hay transformadores que suministran un pequeño voltaje y otros regulan la magnitud y ángulo de fase.

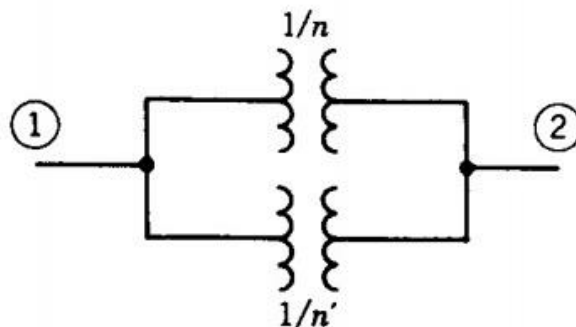
Un transformador regulante es diseñado para pequeños ajustes de voltaje, en las siguientes figuras se muestra un transformador regulante para controlar la magnitud de voltaje y un transformador regulante para control de fase



### Transformador regulante de fase

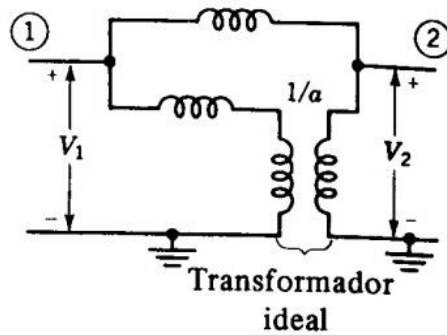
Se determina el  $Y_{bus}$  y  $Z_{bus}$  para un circuito que contiene un transformador regulante al igual que para transformadores cuya relación de espiras es diferente a la relación utilizada para seleccionar la relación de los voltajes de ambos lados del transformador.

En la figura siguiente se muestra el diagrama unifilar de transformadores en paralelo, donde uno de ellos tiene una relación de voltaje  $1/n$ , ambos tienen el mismo voltaje base y la relación del segundo es  $1/n'$

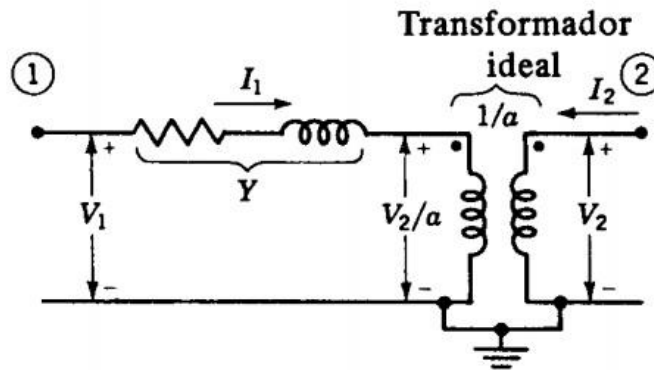


A continuación se muestra un transformador ideal sin impedancia con una relación  $1/a$ . A de tenerse cuidado en la relación de espiras no nominales del segundo transformador, porque los voltajes base son determinados por la relación de espiras del primer transformador. Se puede interpretar como dos líneas de potencia en paralelo con un transformador regulante en una línea.





La admitancia  $Y$  es el equivalente de la impedancia en por unidad del transformador; la admitancia se muestra en el lado del transformador ideal del nodo 1; el lado de cambio correspondiente a  $n'$  está cerca del nodo 2. Se considera el transformador regulante con una relación de espiras igual a  $n'/n$ , donde  $a$  puede ser real o imaginario.



La expresión compleja para la potencia en el transformador ideal en dirección del nodo 1 y el transformador desde el nodo 2 es

$$S_1 = \frac{V_2}{a} I_1^* \quad , \quad S_2 = V_2 I_1^*$$

Dado que se parte de un transformador ideal sin pérdidas, la potencia en el transformador ideal desde el nodo 1 debe ser igual a la potencia de salida del transformador desde el nodo 2, se igualan las dos ecuaciones.

$$S_1 = S_2$$

$$\frac{V_2}{a} I_1^* = V_2 I_1^* \quad \text{y} \quad I_1 = -a^* I_2$$

La corriente  $I_1$  puede expresarse por

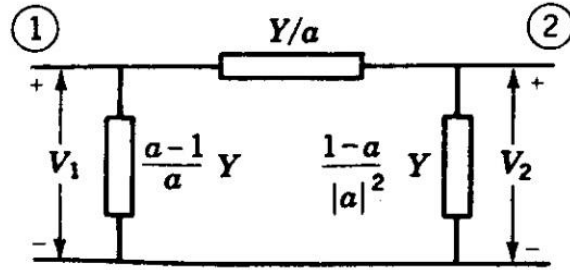
$$I_1 = \left( V_1 - \frac{V_2}{a} \right) Y \quad \text{o} \quad I_1 = V_1 Y - V_2 \frac{Y}{a}$$

Sustituyendo  $-a^* I_2$  por  $I_1$  y resolviendo para  $I_2$

$$I_2 = -V_1 \frac{Y}{a^*} + V_2 \frac{Y}{a a^*}$$

Comparando las ecuaciones y  $a a^* = |a|^2$  las admitancias de nodos son

$$\begin{aligned} Y_{11} &= Y & Y_{22} &= \frac{Y}{|a|^2} \\ Y_{12} &= -\frac{Y}{a} & Y_{21} &= -\frac{Y}{a^*} \end{aligned}$$



El equivalente  $\pi$  correspondiente de admitancia de nodo puede calcularse sólo si  $a$  es real de modo que  $Y_{21} = Y_{12}$  y si los transformadores cambian su magnitud pero no la fase el circuito sería el que se muestra.

### 5.3 MÉTODO NEWTON RAPHSON

La base del método de Newton Raphson es la expansión en series de Taylor para función de dos o más variables.

En la barra  $k$  la  $P_k$  y  $Q_k$  en un sistema de  $N$  barras está dada por  $P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n$

En su forma polar  $P_k - jQ_k = |V_k| \angle \delta_k \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_n| \angle \theta_{kn} + \delta_n$

Separando la parte real y la parte imaginaria

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k| |V_n| |Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} - \delta_k + \delta_n)$$

$$Q_k = - \sum_{n=1}^N |V_k| |V_n| |Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} - \delta_k + \delta_n)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}$$

Los elementos de  $J_1$  en la diagonal y fuera de la diagonal son

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

Los elementos de  $J_2$  en la diagonal y fuera de la diagonal son

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

Los elementos de  $J_3$  en la diagonal y fuera de la diagonal son

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

Los elementos de  $J_4$  en la diagonal y fuera de la diagonal son

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

Los términos  $\Delta P_i^{(k)}$  y  $\Delta Q_i^{(k)}$  son residuos de potencias

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)}$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)}$$

Las nuevas estimaciones para la tensión del bus son

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)}$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}|$$

## Límites de reactivos en los nodos

Los dispositivos que regulan la tensión de un nodo tienen una capacidad limitada para absorber o inyectar potencia reactiva, si se rebasan los límites mínimos y máximos, la tensión regulada no puede mantener el valor especificado y el nodo pasa a ser un nodo de consumo con una  $Q^{esp} = Q^{min}$  o  $Q^{esp} = Q^{max}$ .

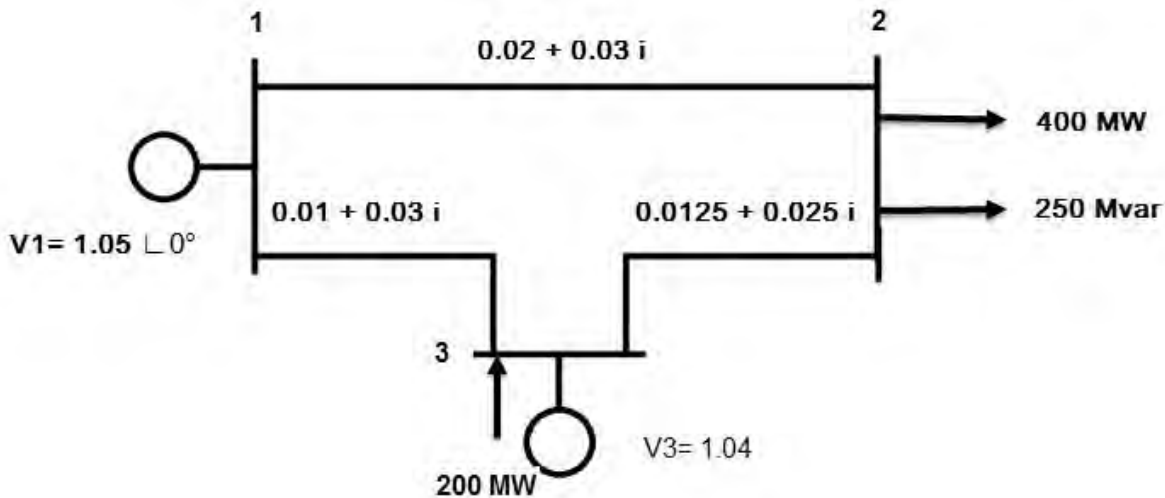
El nodo PQ es un tanto especial pues puede volver a convertirse en nodo PV si en una iteración posterior se cumple  $V^k > V^{esp}$  cuando  $Q^{esp} = Q^{max}$  o  $V^k < V^{esp}$  cuando  $Q^{esp} = Q^{min}$ .

En el método de Newton Raphson en coordenadas polares, convertir un nodo PV a PQ consiste simplemente en incluir  $\Delta Q_i$  en el vector de residuos y  $\Delta V_i$  en el vector de estado. Esto implica cambiar la estructura del jacobiano.

### Ejemplo Flujo de Potencia

En la siguiente figura se observa el diagrama unifilar de un sistema de potencia de tres buses, con generadores en el bus 1 y bus 3. La magnitud del voltaje en el bus 1 es ajustado a 1.05 pu. La magnitud del voltaje en el bus 3 es fija en 1.04 pu con una potencia real de generación de 100 MW. Una carga de 400 MW y 250 Mvar está conectada al bus 2.

Las impedancias de líneas se encuentran en por unidad tomando en cuenta como base 100 MVA, y las susceptancias de línea de carga se desprecian. Obtener la solución del flujo de potencia por el método de Newton Raphson y pérdidas en las líneas



Datos

$$\begin{aligned} Y_{12} &= 10 - 20i \\ Y_{13} &= 10 - 30i \\ Y_{23} &= 10 - 32i \end{aligned} \quad Y_{ij} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix}; \quad Y_{BUS} = \begin{bmatrix} 20 + 50i & -10 + 20i & -10 + 30i \\ -10 + 20i & 26 - 52i & -16 + 32i \\ -10 + 30i & -16 + 30i & 26 - 62i \end{bmatrix}$$

$$|Y_{BUS}| = \begin{bmatrix} 53.851648 & 22.360679 & 31.622776 \\ 22.360679 & 58.137767 & 35.777087 \\ 31.622776 & 35.777087 & 67.230945 \end{bmatrix}$$

$$\theta_{BUS} = \begin{bmatrix} -68.198590^\circ & 116.565051^\circ & 108.434948^\circ \\ 116.565051^\circ & -63.434948^\circ & 116.565051^\circ \\ 108.434948^\circ & 116.565051^\circ & -67.249023^\circ \end{bmatrix}$$

$$V_1 = 1.05 \angle 0^\circ$$

$$|V_2^{(0)}| = 1.0 \quad \delta_2^{(0)} = 0.0$$

$$|V_3| = 1.04 \quad \delta_3^{(0)} = 0.0$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \begin{Bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \end{Bmatrix} \\ \vdots \\ \Delta Q \{ \Delta Q_2 \} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \begin{Bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} \end{Bmatrix} & J_2 \begin{Bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial V_2} \\ \frac{\partial P_3}{\partial V_2} \end{Bmatrix} \\ J_3 \begin{Bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} \end{Bmatrix} & J_4 \begin{Bmatrix} \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} \end{Bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \begin{Bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \end{Bmatrix} \\ \vdots \\ \Delta V \{ \Delta V_2 \} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \begin{Bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \end{Bmatrix} \\ \vdots \\ \Delta Q \{ \Delta Q_2 \} \end{bmatrix}$$

$$P_2 = |V_2||V_1||Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_2||V_2||Y_{22}| \cos(\theta_{22}) + |V_2||V_3||Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$P_2 = -10.499999 + 26 - 16.639999 = -1.139998$$

$$P_3 = |V_3||V_1||Y_{31}| \cos(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |V_3||V_3||Y_{33}| \cos(\theta_{33}) + |V_3||V_2||Y_{32}| \cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$P_3 = -10.919999 + 28.1216 + (-16.639999) = 0.561601$$

$$Q_2 = -|V_2||V_1||Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - |V_2||V_2||Y_{22}| \sin(\theta_{22}) - |V_2||V_3||Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$Q_2 = -20.999999 - (-51.999999) - 33.279999 = -2.279999$$

$$S_2^{sch} = -\frac{(400 + 250i)}{100} = -4.0 - 2.5i \quad pu$$

$$P_3^{sch} = \frac{200}{100} = 2.0 \quad pu$$

$$\Delta P_2^{(0)} = P_2^{sch} - P_2^{(0)} = -4.0 - (-1.14) = -2.8600$$

$$\Delta P_3^{(0)} = P_3^{sch} - P_3^{(0)} = 2.0 - (0.5616) = 1.4384$$

$$\Delta Q_2^{(0)} = Q_2^{sch} - Q_2^{(0)} = -2.5 - (-2.28) = -0.2200$$

$$\left[ \begin{array}{cc} J_1 \left\{ \begin{array}{cc} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} \end{array} \right\} & J_2 \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial P_2}{\partial V_2} \\ \frac{\partial P_3}{\partial V_2} \end{array} \right\} \\ J_3 \left\{ \begin{array}{cc} \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} \end{array} \right\} & J_4 \left\{ \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} \right\} \end{array} \right]$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} = |V_2||V_1||Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_2||V_3||Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} = 20.999999 + 33.279999 = 54.279998$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} = -|V_2||V_3||Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} = -33.279999$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} = 2|V_2||Y_{22}| \cos(\theta_{22}) + |V_1||Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_3||Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} = 52.000001 - 10.499999 - 16.639999 = 24.860003$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} = -|V_3||V_2||Y_{32}| \sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} = -33.279999$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} = |V_3||V_1||Y_{31}| \sin(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |V_3||V_2||Y_{32}| \sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} = 32.759999 + 33.279999 = 66.039998$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} = |V_3||Y_{32}| \cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$\frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} = -16.639999$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} = |V_2||V_1||Y_{21}| \cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_2||V_3||Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} = -10.499999 - 16.639999 = -27.139998$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} = -|V_2||V_3||Y_{23}| \cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} = 16.639999$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} = -2|V_2||Y_{22}| \sin(\theta_{22}) - |V_1||Y_{21}| \sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - |V_3||Y_{23}| \sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

$$\frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} = 103.999998 - 20.999999 - 33.279999 = 49.719999$$

Entonces

$$\begin{bmatrix} -2.86 \\ 1.4384 \\ -0.22 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 54.28 & -33.28 & 24.86 \\ -33.28 & 66.04 & -16.64 \\ -27.14 & 16.64 & 49.72 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2^{(0)} \\ \Delta\delta_3^{(0)} \\ \Delta|V_2^{(0)}| \end{bmatrix}$$

Se resuelve el sistema de ecuaciones para encontrar los valores  $\Delta\delta_2^{(0)}$ ,  $\Delta\delta_3^{(0)}$ ,  $\Delta|V_2^{(0)}|$

$$\begin{aligned} \Delta\delta_2^{(0)} &= -0.045263 & \delta_2^{(1)} &= 0 + (-0.045263) = -0.045263 \\ \Delta\delta_3^{(0)} &= -0.007718 & \delta_3^{(1)} &= 0 + (-0.007718) = -0.007718 \\ \Delta|V_2^{(0)}| &= -0.026548 & |V_2^{(1)}| &= 1 + (-0.026548) = 0.97345 \end{aligned}$$

El proceso se continua hasta que los residuos  $\Delta P_i^{(k)}$ ,  $\Delta Q_i^{(k)}$  son menores que la precisión especificada de 0.00025

Ahora, con los datos obtenidos, se comienza la segunda iteración obteniendo una nueva matriz y se resuelve el sistema de ecuaciones.

$$\begin{bmatrix} -0.099218 \\ 0.021715 \\ -0.050914 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 51.724675 & -31.765618 & 21.302567 \\ -32.981642 & 65.656383 & -15.379086 \\ -28.538577 & 17.402838 & 48.103589 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2^{(1)} \\ \Delta\delta_3^{(1)} \\ \Delta|V_2^{(1)}| \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta\delta_2^{(1)} &= -0.001795 & \delta_2^{(2)} &= -0.045263 + (-0.001795) = -0.04706 \\ \Delta\delta_3^{(1)} &= -0.000985 & \delta_3^{(2)} &= -0.007718 + (-0.000985) = -0.00870 \\ \Delta|V_2^{(1)}| &= -0.001767 & |V_2^{(2)}| &= 0.973451 + (-0.001767) = 0.971684 \end{aligned}$$

En este caso aún no se cumple con la precisión especificada y se continua con las iteraciones, con los datos obtenidos se comienza la tercera iteración.

$$\begin{bmatrix} -0.000216 \\ 0.000038 \\ -0.000143 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 51.596701 & -31.693866 & 21.147447 \\ -32.933865 & 65.597585 & -15.351628 \\ -28.548205 & 17.396932 & 47.954870 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta_2^{(2)} \\ \Delta\delta_3^{(2)} \\ \Delta|V_2^{(2)}| \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta\delta_2^{(2)} &= -0.0000038 & \delta_2^{(2)} &= -0.047058 + (-0.0000038) = -0.04706 \\ \Delta\delta_3^{(2)} &= -0.0000024 & \delta_3^{(2)} &= -0.008703 + (-0.0000024) = -0.008705 \\ \Delta|V_2^{(2)}| &= -0.0000044 & |V_2^{(2)}| &= 0.971684 + (-0.0000044) = 0.97168 \end{aligned}$$

La solución converge en la tercera iteración y obteniendo los valores de

$$V_2 = 0.97168 \angle -2.696^\circ$$

$$V_3 = 1.04 \angle -0.4988^\circ$$

$$|Y_{BUS}| = \begin{bmatrix} 53.851648 & 22.360679 & 31.622776 \\ 22.360679 & 58.137767 & 35.777087 \\ 31.622776 & 35.777087 & 67.230945 \end{bmatrix}$$

$$\theta_{BUS} = \begin{bmatrix} -68.198590^\circ & 116.565051^\circ & 108.434948^\circ \\ 116.565051^\circ & -63.434948^\circ & 116.565051^\circ \\ 108.434948^\circ & 116.565051^\circ & -67.249023^\circ \end{bmatrix}$$

$$Q_3 = -|V_3||V_1||Y_{31}| \sin(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) - |V_3^2||Y_{33}| \sin(\theta_{33}) - |V_3||V_2||Y_{32}| \sin(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2)$$

$$Q_3 = 1.4617 \quad pu$$

$$P_1 = |V_1||V_2||Y_{12}| \cos(\theta_{12} - \delta_1 + \delta_2) + |V_1^2||Y_{11}| \cos(\theta_{11}) + |V_1||V_3||Y_{13}| \cos(\theta_{13} - \delta_1 + \delta_3)$$

$$P_1 = 2.1842 \quad pu$$



$$Q_1 = -|V_1||V_3||Y_{13}| \sin(\theta_{13} - \delta_1 + \delta_3) - |V_1^2||Y_{11}| \sin(\theta_{11}) - |V_1||V_2||Y_{12}| \sin(\theta_{12} - \delta_1 + \delta_2)$$

$$Q_1 = 1.4085 \text{ pu}$$

Para encontrar los flujos en las líneas se debe calcular las corrientes de línea

$$I_{12} = y_{12}(V_1 - V_2) = (10 - 20i)[(1.05 + 0i) - (0.9706 - 0.0457i)] = 1.708 - 1.131i$$

$$I_{21} = -I_{12} = -1.708 + 1.131i$$

$$I_{13} = y_{13}(V_1 - V_3) = (10 - 30i)[(1.05 + 0i) - (1.04 - 0.00905i)] = 0.37201 - 0.21064i$$

$$I_{31} = -I_{13} = -0.37201 + 0.21064i$$

$$I_{23} = y_{23}(V_2 - V_3) = (16 - 32i)[(0.9706 - 0.0457i) - (1.04 - 0.00905i)]$$

$$= -2.4301 + 1.5698i$$

$$I_{32} = -I_{23} = 2.4301 - 1.5698i$$

Los flujos en las líneas son

$$S_{12} = V_1 I_{12}^* = (1.05 + 0i)(-1.708 + 1.131i) = -1.7934 + 1.1876i \text{ pu}$$

$$S_{12} = -179.34 \text{ MW} + 118.76i \text{ Mvar}$$

$$S_{21} = V_2 I_{21}^* = (0.9706 - 0.0457i)(1.708 - 1.131i) = 1.7097 - 1.0195i \text{ pu}$$

$$S_{21} = 170.968 \text{ MW} - 101.947i \text{ Mvar}$$

$$S_{13} = V_1 I_{13}^* = (1.05 + 0i)(-0.37201 + 0.21064i) = -0.39061 + 0.22117i \text{ pu}$$

$$S_{13} = -39.061 \text{ MW} + 22.117i \text{ Mvar}$$

$$S_{31} = V_3 I_{31}^* = (1.04 + 0.00905i)(0.37201 - 0.21064i) = 0.38498 - 0.21569i \text{ pu}$$

$$S_{31} = 38.498 \text{ MW} - 21.569i \text{ Mvar}$$

$$S_{23} = V_2 I_{23}^* = (0.9706 - 0.0457i)(2.4301 - 1.5698i) = 2.29032 - 1.48053i \text{ pu}$$

$$S_{23} = 229.032 \text{ MW} - 148.053i \text{ Mvar}$$

$$S_{32} = V_3 I_{32}^* = (1.04 - 0.00905i)(-2.4301 + 1.5698i) = -2.38878 + 1.67746i \text{ pu}$$

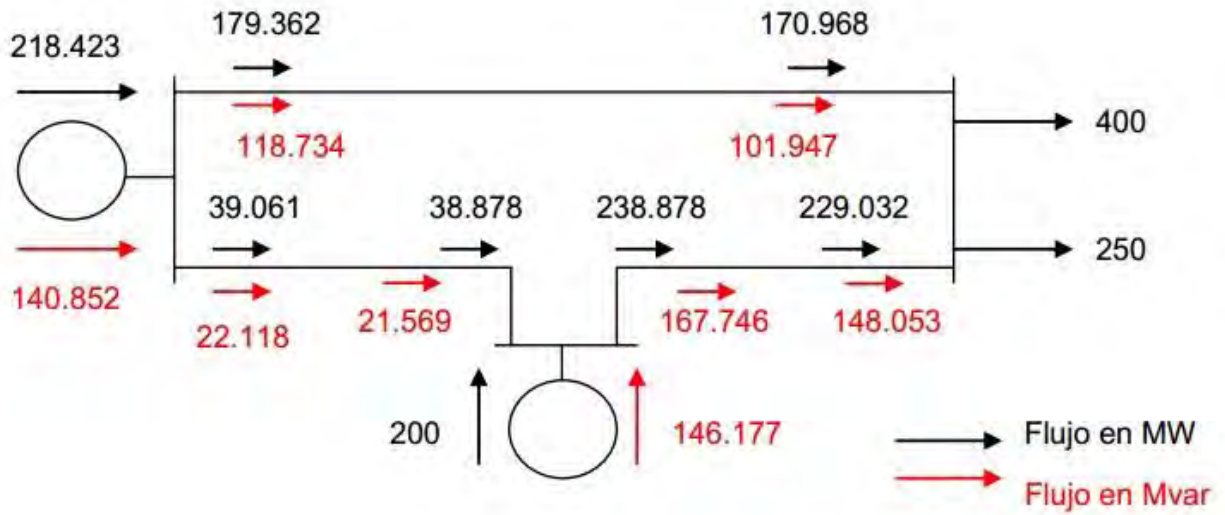
$$S_{32} = -238.878 \text{ MW} + 167.746i \text{ Mvar}$$

Y las pérdidas en las líneas son

$$S_{L12} = S_{12} + S_{21} = 8.393 \text{ MW} + 16.787i \text{ Mvar}$$

$$S_{L13} = S_{13} + S_{31} = 0.183 \text{ MW} + 0.548i \text{ Mvar}$$

$$S_{L23} = S_{23} + S_{32} = 9.847 \text{ MW} + 19.693i \text{ Mvar}$$



## Simulación

Primero se insertan los datos

datos

Datos de BUS

# de BUS	Tipo de BUS	Voltage	Angulo	Carga MW	Carga MVARs	MW Generados	MVARs Generados	Q min	Q max	MVARs inyectados shunt capacitor
1	2	1.05	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1.04	0	400	250	0	0	-350	300	0
3	2	1.04	0	0	0	200	0	-350	300	0

Numero de BUS: 3

Base MVA: 100

Tolerancia: 0.0001

Iteraciones Max: 100

Datos de LINEA

BUS p	BUS q	Resistencia	Reactancia	1/2 Admittancia	Tipo / Tap transformador
1	2	0.02	0.04	0	1
2	3	0.01	0.03	0	1
3	3	0.0125	0.025	0	1

Después se despliegan los resultados

**SOLUCION DE FLUJO DE POTENCIA POR EL METODO DE NEWTON-RAPHSON**

# BUS	Voltaje	Angulo Grados	CARGA		Generacion		Inyectado Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.05	0	0	0	218.423	140.852	0
2	0.97168	-2.69645	400	250	0	0	0
3	1.04	-0.498803	0	0	200	146.177	0
<b>TOTAL</b>			400	250	418.423	287.028	0

# Iteraciones: 4  
Error: 1.1676e-09

**Flujos y Perdidas en Linea**

LINEA de a	Potencia en BUS y en Linea			Perdida de LINEA		Transformador TAP
	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	
1 2	218.423	140.852	259.899	0	0	
0 2	179.362	118.734	215.101	8.39336	16.7867	
0 3	39.061	22.1176	44.8882	0.182762	0.548287	
2 0	-400	-250	471.699	0	0	
0 1	-170.968	-101.947	199.056	8.39336	16.7867	
0 3	-229.032	-148.053	272.718	9.84671	19.6934	
3 0	200	146.177	247.725	0	0	
0 1	-38.8783	-21.5693	44.4607	0.182762	0.548287	
0 2	238.878	167.746	291.893	9.84671	19.6934	
<b>TOTAL</b>			18.4228	37.0284		

Flujo.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

**SOLUCION DE FLUJO DE POTENCIA POR EL METODO DE NEWTON-RAPHSON**

----- DATOS DE BUS INICIAL -----

Bus No.	Tipo BUS	Voltaje Mag.	Angulo Grados	Carga		Generacion		MVARs (min)	MVARs (max)	Inyectado Mvar
				MW	Mvar	MW	Mvar			
1	1	1.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-350.000	350.000	0.000
2	0	1.000	0.000	400.000	250.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	2	1.040	0.000	0.000	0.000	200.000	0.000	-350.000	350.000	0.000

----- DATOS DE LINEAS -----

De BUS	A BUS	Resistencia [ pu ]	Reactancia [ pu ]	1/2 Admitancia [ pu ]	Transformador Linea
1	2	0.020	0.040	0.000	1.000
1	3	0.010	0.030	0.000	1.000
2	3	0.013	0.025	0.000	1.000

----- SOLUCION -----

NUMERO DE ITERACIONES = 4                      Error = 1.1676e-09

Bus No.	Voltaje Mag.	Angulo Grados	Carga		Generacion		Inyectado Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.050	0.000	0.000	0.000	218.423	140.852	0.000
2	0.972	-2.696	400.000	250.000	0.000	0.000	0.000
3	1.040	-0.499	0.000	0.000	200.000	146.177	0.000

NUMERO DE ITERACIONES = 4

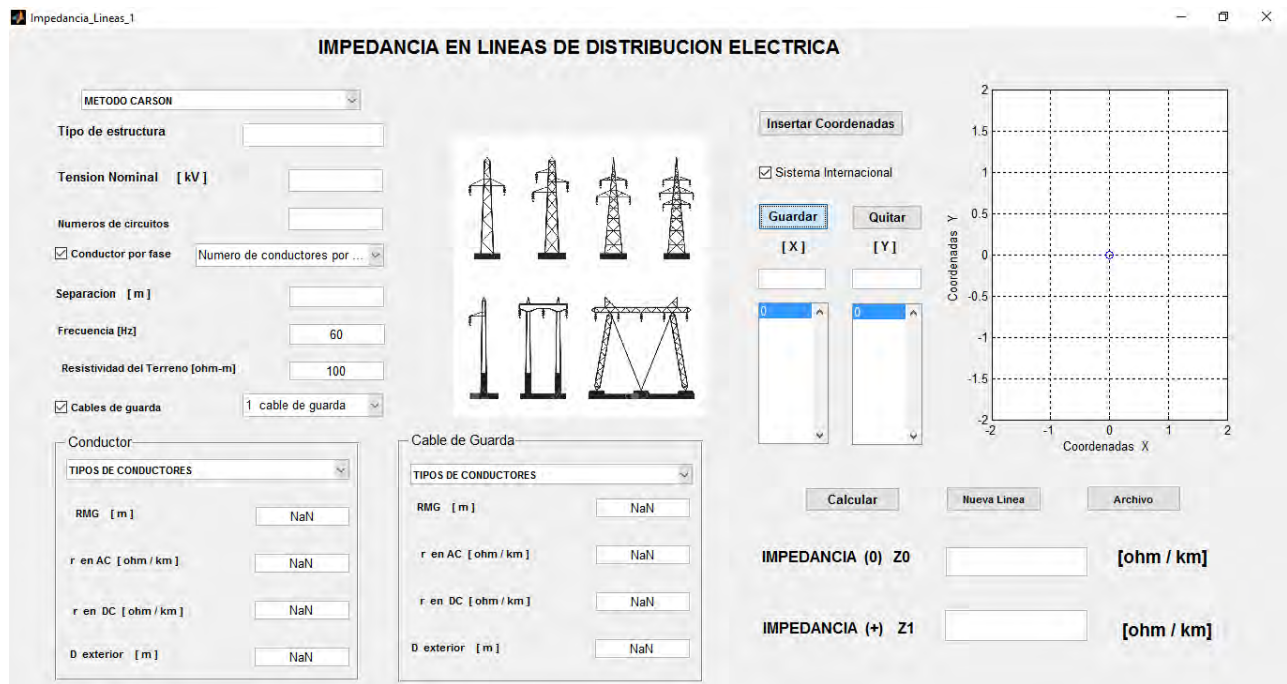
Error = 1.1676e-09

Bus No.	Voltaje Mag.	Angulo Grados	-----Carga-----		---Generacion---		Inyectado Mvar
			MW	Mvar	MW	Mvar	
1	1.050	0.000	0.000	0.000	218.423	140.852	0.000
2	0.972	-2.696	400.000	250.000	0.000	0.000	0.000
3	1.040	-0.499	0.000	0.000	200.000	146.177	0.000
Total			400.000	250.000	418.423	287.028	0.000

## Flujos y Perdidas en la Linea

--Linea-- de a	Flujo de Potencia en el bus y linea			--Perdida en Linea--		Transformador tap
	MW	Mvar	MVA	MW	Mvar	
1		218.423	140.852	259.899		
	2	179.362	118.734	215.101	8.393	16.787
	3	39.061	22.118	44.888	0.183	0.548
2		-400.000	-250.000	471.699		
	1	-170.968	-101.947	199.056	8.393	16.787
	3	-229.032	-148.053	272.718	9.847	19.693
3		200.000	146.177	247.725		
	1	-38.878	-21.569	44.461	0.183	0.548
	2	238.878	167.746	291.893	9.847	19.693
PERDIDAS TOTALES				18.423	37.028	

## 6.1 IMPEDANCIA EN LÍNEAS



```

global pos RMGfase rmg2 distancia resit1 resit2 tmatrdist conteog conteof
valor_name tipo
texto=fopen('Linea.txt','wt');
tipo_estructura=get(handles.tipo_estructura,'value');
format long
switch tipo_estructura
    %1      TIPO_GHOST DE ESTRUCTURA
    % 2    LINEA SIN HILOS DE GUARDA
    % 3    LINEA CON HILOS DE GUARDA
    % 4    LINEA CON CONDUCTORES MULTIPLES POR FASE
    % 5    LINEA CON DOBLE CIRCUITO EN PARALELO
    % 6    METODO DE CARSON'S

    case 1
        errordlg('Te falta seleccionar el tipo de estructura' , ' Error faltan
datos ' );
    case 2
        tmatriz=3;
        numc=' 1 ';
    case 3
        tmatriz=(get(handles.cguard,'value')+3);
        numc=' 1 ';
    case 4
        tmatriz=5;
        numc=' 1 ';
    case 5
        if get(handles.opguard,'value')==0
            tmatriz=6;
        else
            tmatriz=6+2;

```

```

        end
        numc=get(handles.ncircuitos,'value');
    case 6
        tmatriz=tmatrdist;
        numc=get(handles.num_circuit,'string');
end
fprintf(texto,'
                                RESULTADOS DE CÁLCULO DE IMPEDANCIA \n\n');
% Matriz de distancias
for n=1:tmatriz
    for m=1:tmatriz
        distancia(n,m)=sqrt((((pos(n,1))-(pos(m,1)))^2)+(((pos(n,2))-
(pos(m,2)))^2));
    end

end
cg=get(handles.opguard,'value');
cf=get(handles.condfase,'value');

if cg==0
    cg2='NO';
elseif cg==1
    cg2=int2str(get(handles.cguard,'value'));
end
if cf==0
    cf2=' 1  ';
elseif cf==1
    cf2=int2str(get(handles.opcion1,'value'));
end
i=sqrt(-1);           %Hace la variable i el valor de Número complejo
% Profundidad equivalente del regreso por tierra
frecuencia=str2double(get(handles.frec,'string'));
resistividadt=str2double(get(handles.rterr,'string'));
De=658*sqrt((str2double(get(handles.rterr,'string'))/(str2double(get(handles.fr
ec,'string'))));
fprintf(texto,'\n
----- CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA -----
\n');
nombre=get(handles.nombre_estructura,'string');
tension=get(handles.tension_nominal,'string');
fprintf(texto,'
                Tipo de estructura      =   %s          \n',nombre);
fprintf(texto,'
                Tension Nominal         =   %s          [ kV ]
\n',tension);
fprintf(texto,'
                Número de circuitos     =   %s          \n',numc);
fprintf(texto,'
                Conductores por fase    =   %s          \n',cf2);
fprintf(texto,'
                Cables de guarda       =   %s          \n',cg2);
fprintf(texto,'
                Frecuencia               =   %i          [Hz]      \n',
frecuencia);
fprintf(texto,'
                Resistividad del terreno =   %i          [ohm-m]
\n',resistividadt);
fprintf(texto,'
                Regreso por Tierra      =   %4.2f      [m]          \n',De);
fprintf(texto,'\n
----- CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES -----
\n');
sistema=get(handles.SA,'value');
if sistema==0
    S1='[ft]';
    S2='[ohm / mi]';
elseif sistema==1
    S1='[m]';
    S2='[ohm / km]';
end

```



```

tipo_conductor=get(handles.tipo_ghost,'string');
rmgc=get(handles.RMGc,'string');
rACc=get(handles.rACc,'string');
fprintf(texto,'          Tipo : %s \n',tipo_conductor{1,1});
fprintf(texto,'          RMG      : %.6f %s
\n',str2double(rmgc),S1);
fprintf(texto,'          Resistencia AC : %.6f %s
\n',str2double(rACc),S2);
if get(handles.opguard,'value')==1
    tipo_conductor2=get(handles.tipo_ghost2,'string');
    rmgg=get(handles.RMGg,'string');
    rACg=get(handles.rACg,'string');
    fprintf(texto,'\n          -----CARACTERISTICAS DE CABLE DE GUARDA -----
\n');
    fprintf(texto,'          Tipo : %s \n',tipo_conductor2{1,1});
    fprintf(texto,'          RMG      : %.6f %s
\n',str2double(rmgg),S1);
    fprintf(texto,'          Resistencia AC : %.6f %s
\n',str2double(rACg),S2);
end
fprintf(texto,'\n          ----- POSICIONES -----
\n');
for i=1:tmatriz

    fprintf(texto,'          Posiciones[%2i]= [ %4.3f , %3.3f ] %s
\n',i,pos(i,1),pos(i,2),S1);
end
fprintf(texto,'\n          ----- DISTANCIAS -----
\n');
for i=1:tmatriz
    for j=i+1:tmatriz
        fprintf(texto,'          Distancia [%2i ][%2i ] = %4.3f %s
\n',i,j,distancia(i,j),S1);
    end
end
Q=str2double(get(handles.RMGc,'String')); % Radio medio geometrico del
conductor
P=str2double(get(handles.rACc,'String')); % Resistencia en AC del conductor
U=str2double(get(handles.rACg,'String')); % Resistencia en AC del cable de
guarda
tipo_estructura=get(handles.tipo_estructura,'value'); %Evalua la opcion de tipo
de estructura
switch tipo_estructura
    case 1

    case 2
        %          Distancia Media Geometrica
        DMG=1;
        for x=1:3
            for y=x:3
                if x==y
                else
                    DMG=distancia(x,y)*DMG;
                end
            end
        end
        end
        %          -----
        DMG=nthroot(DMG,3);
        RMG1=nthroot((Q)*(DMG^2),3);

```

```
Z1=(P)+0.17361i*(log10(DMG/Q));
Z0=P+0.17784+0.52083i*(log10(De/RMG1));
```

```
case 3
%      DMGabc
%      -----
DMGabc=1;
for x=1:3
    for y=x:3
        if x==y
        else
            DMGabc=distancia(x,y)*DMGabc;
        end
    end
end

DMGabc=nthroot(DMGabc,3);
%      -----

RMG1=nthroot(Q*(DMGabc)^2,3);
%      -----
DMGlg=1;
for x=1:3
    for y=4:tmatrix
        DMGlg=distancia(x,y)*DMGlg;
    end
end
DMGlg=nthroot(DMGlg,(3*get(handles.cguard,'value')));
if get(handles.cguard,'value')==1
    RMGg=str2double(get(handles.RMGg,'String'));
else
    RMGg=sqrt((str2double(get(handles.RMGg,'String'))*distancia(4,5)));
end
Z1=P+0.17361i*log10(DMGabc/Q);
Z01=P+0.52083i*log10(DMGlg/RMG1);
Z0g=(3/get(handles.cguard,'value'))*U+0.52083i*log10(DMGlg/RMGg);
Zm=0.17784+0.52083i*log10(De/DMGlg);
Z0=Z01+(Z0g*Zm/(Z0g+Zm));

case 4
valor_RMGgrup=get(handles.opcion1,'value');

if valor_RMGgrup==1

elseif valor_RMGgrup==2
    rmgc=str2double(get(handles.RMGc,'String'))
    s=str2double(get(handles.separacion,'String'))
    rmgc*s
    RMGfase=sqrt(rmgc*s)

elseif valor_RMGgrup==3

RMGfase=nthroot(((str2double(get(handles.RMGc,'String'))*(str2double(get(handles.separacion,'String')))^2),3);

elseif valor_RMGgrup==4
```



```
RMGfase=1.09*(nthroot(((str2double(get(handles.RMGc, 'String')))*(str2double(get(
handles.separacion, 'String')))^3),4));
```

```
end
%           DMGabc
%           -----
DMGabc=1;
for x=1:3
    for y=x:3
        if x==y
        else
            DMGabc=distancia(x,y)*DMGabc;
        end
    end
end
end

DMGabc=nthroot(DMGabc,3)

%           -----
%           -----

RMGl=nthroot(RMGfase*(DMGabc)^2,3)
%           -----
DMGlg=1;
for x=1:3
    for y=4:tmatrix
        DMGlg=distancia(x,y)*DMGlg;
    end
end
DMGlg=nthroot(DMGlg,(3*get(handles.cguard, 'value')))
if get(handles.cguard, 'value')==1

    RMGg=str2double(get(handles.RMGg, 'String'));
else
    RMGg=sqrt((str2double(get(handles.RMGg, 'String')))*distancia(4,5))
end

Z1=(P/valor_RMGgrup)+0.17361i*log10(DMGabc/RMGfase);

Z0l=(P/valor_RMGgrup)+0.52083i*log10(DMGlg/RMGl)
Z0g=(3/get(handles.cguard, 'value')*U+0.52083i*log10(DMGlg/RMGg)
Zm=0.17784+0.52083i*log10(De/DMGlg)
Z0=Z0l+(Z0g*Zm/(Z0g+Zm));
case 5
valor_opguard=get(handles.opguard, 'value');
valor_condfase=get(handles.condfase, 'value');
%           DMGabc1  Distancia media geometrica entre los 3 conductores
%           de cada circuito
%           -----
DMGabc1=1;
for x=1:3
    for y=x:3
        if x==y
        else
            DMGabc1=distancia(x,y)*DMGabc1;
        end
    end
end
end
```

```

end

DMGabc1=nthroot(DMGabc1,3);
% -----

if valor_opguard==0 %Cuando no hay cables de guarda
    RMGc=nthroot(Q*(DMGabc1)^2,3);

    DMG12=1;
    for x=1:3
        for y=4:6
            if x==y
            else
                DMG12=distancia(x,y)*DMG12;
            end
        end
    end
    DMG12=nthroot(DMG12,9);
    %Formulasm
    Z1=P+0.17361i*log10(DMGabc1/Q);
    Z0p=P+0.17784+0.52083i*log10(De/RMGc);
    Z0m=0.17784+0.52083i*log10(De/DMG12);
    Z0=0.5*(Z0p+Z0m);

else %Cuando hay cables de guarda
    set(handles.cguard,'Value',2);
    if valor_condfase==0 %Cuando hay cables de guarda y no hay
conductures multiples
        n1=1;
        n2=1;
        n3=1;
        n4=1;
        DMGlg=1;
        % -----n1-----
        for x=1:2
            for y=2:3
                if x==2 && y==2
                else
                    n1=distancia(x,y)*n1;
                end
            end
        end
        % -----n2-----
        for x=1:2
            for y=5:6
                if x==2 && y==5
                else
                    n2=distancia(x,y)*n2;
                end
            end
        end
        % -----n3-----
        for x=4:5

```

```

        for y=2:3
            if x==5 && y==2
            else
                n3=distancia(x,y)*n3;
            end
        end
    end
end
% -----n4-----
for x=4:5
    for y=5:6
        if x==5 && y==5
        else
            n4=distancia(x,y)*n4;
        end
    end
end
end
% -----

DMGabc=nthroot(n1*n2*n3*n4,12);

RMGa=sqrt(str2double(get(handles.RMGc, 'String'))*distancia(1,4));
RMGb=sqrt(str2double(get(handles.RMGc, 'String'))*distancia(2,5));
RMGc=sqrt(str2double(get(handles.RMGc, 'String'))*distancia(3,6));
RMGabc=nthroot(RMGa*RMGb*RMGc, 3);
RMG1=nthroot(RMGabc*DMGabc*DMGabc, 3);
% -----
for x=7:8
    for y=1:6
        if x==5 && y==5
        else
            DMGlg=distancia(x,y)*DMGlg;
        end
    end
end
DMGlg=nthroot(DMGlg,12);
% -----

RMGgrupog=sqrt(str2double(get(handles.RMGg, 'String'))*distancia(7,8));
% ----- Formulas comunes -----
Z1=P+0.17361i*log10(DMGabc1/Q);
Z01=(P/get(handles.cguard, 'value')+0.52083i*log10(DMGlg/RMG1));

Z0g=(3/get(handles.cguard, 'value')*U+0.52083i*log10(DMGlg/RMGgrupog);
Zm=0.17784+0.52083i*log10(De/DMGlg);
Z0=Z01+(Z0g*Zm/(Z0g+Zm));
else %Cuando hay cables de guarda y hay
conductores multiples

    valor_RMGgrup=get(handles.opcion1, 'value');
    if valor_RMGgrup==1

    elseif valor_RMGgrup==2

```

```

RMGfase=sqrt((str2double(get(handles.RMGc, 'String'))*(str2double(get(handles.separacion, 'String'))));

        elseif valor_RMGgrup==3

RMGfase=nthroot(((str2double(get(handles.RMGc, 'String'))*(str2double(get(handles.separacion, 'String')))^2),3);

        elseif valor_RMGgrup==4

RMGfase=1.09*(nthroot(((str2double(get(handles.RMGc, 'String'))*(str2double(get(handles.separacion, 'String')))^3),4));

        end

        RMGcircuito=nthroot((RMGfase)*(DMGabc1)^2,3);
        DMG12=1;
        for x=1:3
            for y=4:6
                if x==y
                    else
                        DMG12=distancia(x,y)*DMG12;
                    end
                end
            end
        end
        DMG12=nthroot(DMG12,9);

        RMG1=sqrt(RMGcircuito*DMG12);
        DMG1g=1;
        for x=7:8
            for y=1:6
                if x==5 && y==5
                    else
                        DMG1g=distancia(x,y)*DMG1g;
                    end
                end
            end
        end
        DMG1g=nthroot(DMG1g,12);
        % -----

RMGgrupog=sqrt(str2double(get(handles.RMGg, 'String'))*distancia(7,8));
Z1=(P/valor_RMGgrup)+0.17361i*log10(DMGabc1/RMGfase);
Z01=(P/4)+0.52083i*log10(DMG1g/RMG1);
Z0g=(3/2)*U+0.52083i*log10(DMG1g/RMGgrupog);
Zm=0.17784+0.52083i*log10(De/DMG1g);
Z0=Z01+(Z0g*Zm/(Z0g+Zm));

        end

    end

case 6

    for n=1:tmatrdist
        for m=1:tmatrdist

```

```

                distancia2(n,m)=sqrt(((pos(n,1))-(pos(m,1)))^2)+(((pos(n,2))-
(pos(m,2)))^2));
            end
        end
    end
    % -----
    opcion_guarda=get(handles.condfase,'value');
    if opcion_guarda==0
        RMGfase=str2double(get(handles.RMGc,'String'));
        resit1=str2double(get(handles.rACc,'string'));
    else
        valor_RMGgrup=get(handles.opcion1,'value');
        if valor_RMGgrup==1
            % Mensaje de error
        elseif valor_RMGgrup==2
            RMGfase=sqrt((str2double(get(handles.RMGc,'String'))*(str2double(get(handles.se
paracion,'String'))));
            resit1=str2double(get(handles.rACc,'string'))/2;
        elseif valor_RMGgrup==3
            RMGfase=nthroot(((str2double(get(handles.RMGc,'String'))*(str2double(get(handle
s.separacion,'String')))^2),3)
            resit1=str2double(get(handles.rACc,'string'))/3;
        elseif valor_RMGgrup==4
            RMGfase=1.09*(nthroot(((str2double(get(handles.RMGc,'String'))*(str2double(get(
handles.separacion,'String')))^3),4));
            resit1=str2double(get(handles.rACc,'string'))/4;
        end
    end

end
% -----
Zprimitiva=zeros(tmatrdist);
resit2=str2double(get(handles.rACg,'string'));
rmg2=str2double(get(handles.RMGg,'string'));
sistema=get(handles.SA,'value');
for n=1:tmatrdist
    for m=1:tmatrdist
        if n==m
            if n<=tmatrdist-conteog
                if sistema==0
                    Zprimitiva(n,n)=(resit1+0.09530)+0.12134i*(log(1/RMGfase)+7.93402); %Ecuacion
de Carson en cantidades ohm/mi
                elseif sistema==1
                    Zprimitiva(n,n)=(resit1+0.059220)+0.0754i*(log(1/RMGfase)+6.746); %Ecuacion de
Carson en cantidades ohm/km
                end
            elseif n>=tmatrdist-conteog
                if sistema==0
                    Zprimitiva(n,n)=(resit2+0.09530)+0.12134i*((log(1/(rmg2))+7.93402)); %Ecuacion
de Carson en cantidades ohm/mi
                elseif sistema==1
                    Zprimitiva(n,n)=(resit2+0.059220)+0.0754i*(log(1/rmg2)+6.746); %Ecuacion de
Carson en cantidades ohm/km
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

        end
    end
    if n~=m
        if sistema==0
Zprimitiva(n,m)=0.09530+0.12134i*((log(1/distancia2(n,m))+7.93402)); %Ecuacion
de Carson en cantidades ohm/mi
            elseif sistema==1
Zprimitiva(n,m)=0.059220+0.0754i*(log(1/distancia2(n,m))+6.746); %Ecuacion de
Carson en cantidades ohm/km
            end
        end
    end
end
end
tamano=length(Zprimitiva);
while tamano>3
    %Esta es para sacar la Zij
    for i=1:(3)
        for j=1:(3)
            Zij(i,j)=Zprimitiva(i,j);
        end
    end
    %Esta es para sacar la Zin
    for i=1:3
        for j=1:tamano-3
            Zin(i,j)=Zprimitiva(i,(j+3));
        end
    end
    %Esta es para la sacar la Znn
    for i=1:tamano-3
        for j=1:tamano-3
            Znn(i,j)=Zprimitiva((i+3),(j+3));
        end
    end
    %Esta es para sacar la Znj
    for i=1:tamano-3
        for j=1:3
            Znj(i,j)=Zprimitiva((i+3),j);
        end
    end
    Zprimitiva=Zij-Zin*(inv(Znn))*Znj;
    tamano=length(Zprimitiva);
end
a=(-1/2)+(sqrt(3)/2)*1i;
A=[1 1 1;1 a*a a;1 a a*a];
znueva=inv(A)*Zprimitiva*A;
zabc=Zprimitiva;
Z_propia=(zabc(1,1)+zabc(2,2)+zabc(3,3))/3;
Z_mutua=(zabc(1,2)+zabc(1,3)+zabc(2,3))/3;
for i=1:3
    zabc(i,i)=Z_propia;
    for j=1:3
        if i~=j
            zabc(i,j)=Z_mutua;
            zabc(j,i)=Z_mutua;
        end
    end
end
end
end

```

```

        z012=inv(A)*zabc*A;
end
if tipo_estructura~=6
    set(handles.edit_z0,'String',num2str(Z0));
    set(handles.edit_z1,'String',num2str(Z1));
    txtz0=get(handles.edit_z0,'String');
    txtz1=get(handles.edit_z1,'String');

    fprintf(texto,'\n -----
\n\n');
    fprintf(texto,'          Impedancia de secuencia(0) Z0 = %5s [ohm/km]
\n',txtz0);
    fprintf(texto,'          Impedancia de secuencia(+) Z1 = %5s [ohm/km]
',txtz1);
else
    set(handles.edit_z0,'String',num2str(z012(1,1)));
    set(handles.edit_z1,'String',num2str(z012(2,2)));
    txtz0=get(handles.edit_z0,'String');
    txtz1=get(handles.edit_z1,'String');
    fprintf(texto,'\n ----- IMPEDANCIAS -----
\n\n');
    fprintf(texto,'          Impedancia de secuencia(0) Z0 = %5s [ohm/km]
\n',txtz0);
    fprintf(texto,'          Impedancia de secuencia(+) Z1 = %5s [ohm/km]
',txtz1);
end

```

## 6.2 TRANSFORMADORES

```

if str2double(get(handles.N1,'string'))<=0 ||
str2double(get(handles.N2,'string'))<=0

    errordlg('Esto es un mensaje de error' , ' Curso_GUIDE ' );
else

```

```

end
valor=get(handles.seleccion1, 'value')
a=(str2double(get(handles.N1, 'string')))/(str2double(get(handles.N2, 'string')))
opvl=get(handles.vl1, 'value');
opil=get(handles.il1, 'value');

switch valor
    case 1

    case 2
        if opvl==1
            vf1=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/sqrt(3);
            set(handles.vf1t, 'string', vf1);
        else
            vl1=str2double(get(handles.vf1t, 'string'))*sqrt(3);
            set(handles.vl1t, 'string', vl1);
        end
        if opil==1
            if1=str2double(get(handles.il1t, 'string'));
            set(handles.if1t, 'string', if1);
        else
            il1=str2double(get(handles.if1t, 'string'));
            set(handles.il1t, 'string', il1);
        end
        vl2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/a;
        vf2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/(a*sqrt(3));
        il2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a;
        if2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a;
        set(handles.vl2t, 'string', vl2)
        set(handles.vf2t, 'string', vf2)
        set(handles.il2t, 'string', il2)
        set(handles.if2t, 'string', if2)
    case 3
        if opvl==1
            vf1=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/sqrt(3);
            set(handles.vf1t, 'string', vf1);
        else
            vl1=str2double(get(handles.vf1t, 'string'))*sqrt(3);
            set(handles.vl1t, 'string', vl1);
        end
        if opil==1
            if1=str2double(get(handles.il1t, 'string'));
            set(handles.if1t, 'string', if1);
        else
            il1=str2double(get(handles.if1t, 'string'));
            set(handles.il1t, 'string', il1);
        end
        vl2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/(a*sqrt(3));
        vf2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/(a*sqrt(3));
        il2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a*sqrt(3);
        if2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a;
        set(handles.vl2t, 'string', vl2)
        set(handles.vf2t, 'string', vf2)
        set(handles.il2t, 'string', il2)
        set(handles.if2t, 'string', if2)
    case 4
        if opvl==1

```

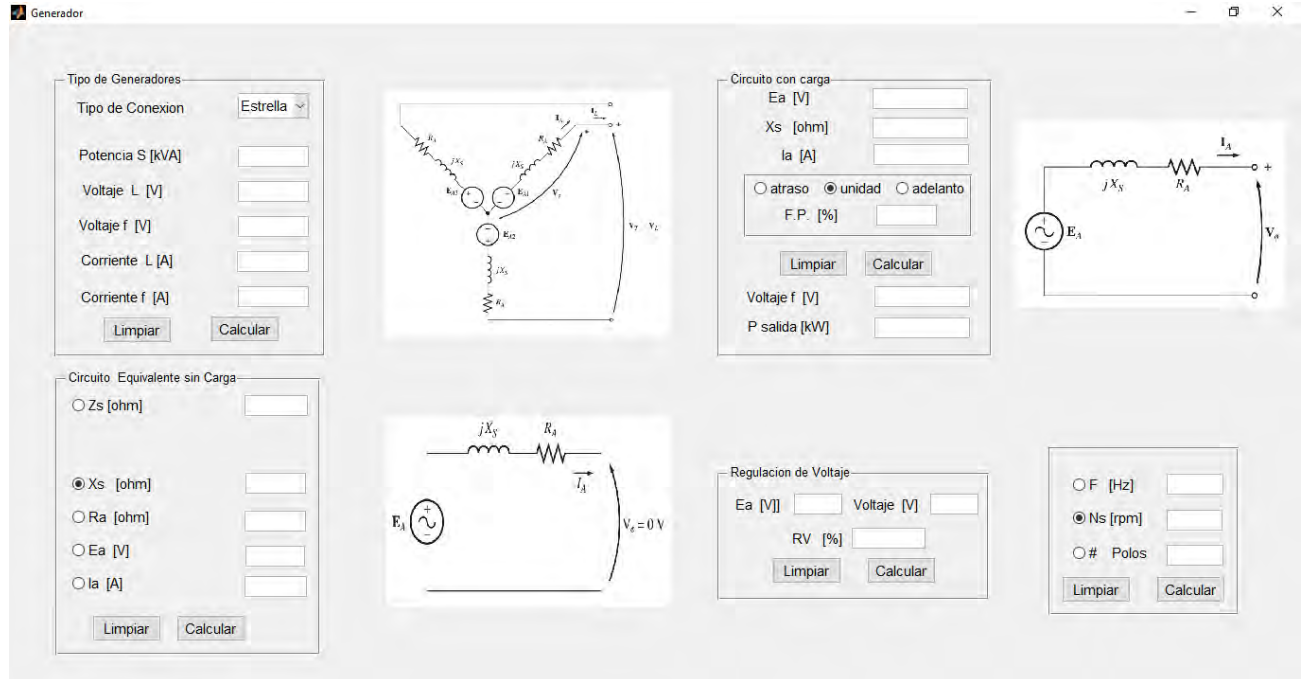


```

        vf1=str2double(get(handles.vl1t, 'string'));
        set(handles.vf1t, 'string', vf1);
    else
        vl1=str2double(get(handles.vf1t, 'string'));
        set(handles.vl1t, 'string', vl1);
    end
    if opil==1
        if1=str2double(get(handles.il1t, 'string'))/sqrt(3);
        set(handles.if1t, 'string', if1);
    else
        il1=str2double(get(handles.if1t, 'string'))*sqrt(3);
        set(handles.il1t, 'string', il1);
    end
    vl2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))*sqrt(3)/a;
    vf2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/a;
    il2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a/sqrt(3);
    if2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a/sqrt(3);
    set(handles.vl2t, 'string', vl2)
    set(handles.vf2t, 'string', vf2)
    set(handles.il2t, 'string', il2)
    set(handles.if2t, 'string', if2)
case 5
    if opvl==1
        vf1=str2double(get(handles.vl1t, 'string'));
        set(handles.vf1t, 'string', vf1);
    else
        vl1=str2double(get(handles.vf1t, 'string'));
        set(handles.vl1t, 'string', vl1);
    end
    if opil==1
        if1=str2double(get(handles.il1t, 'string'))/sqrt(3);
        set(handles.if1t, 'string', if1);
    else
        il1=str2double(get(handles.if1t, 'string'))*sqrt(3);
        set(handles.il1t, 'string', il1);
    end
    vl2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/a;
    vf2=str2double(get(handles.vl1t, 'string'))/a;
    il2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a;
    if2=str2double(get(handles.il1t, 'string'))*a/sqrt(3);
    set(handles.vl2t, 'string', vl2)
    set(handles.vf2t, 'string', vf2)
    set(handles.il2t, 'string', il2)
    set(handles.if2t, 'string', if2)
end
end

```

## 6.3 MÁQUINAS SÍNCRONAS



```
function c1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to c1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
tipo_generador=get(handles.tipo_g,'value');
if tipo_generador==1    %Tipo Estrella
    if isnan(str2double(get(handles.S,'string')))==0

corriente=str2double(get(handles.S,'string'))/(3*str2double(get(handles.V
_f,'string')));
        set(handles.I_L,'string',corriente);
        set(handles.I_f,'string',corriente);
    else
        if isnan(str2double(get(handles.V_f,'string')))==0
            if isnan(str2double(get(handles.I_f,'string')))==0

potencia=3*str2double(get(handles.V_f,'string'))*str2double(get(handles.I
_f,'string'));
            else
                if isnan(str2double(get(handles.I_L,'string')))==0

potencia=3*str2double(get(handles.V_f,'string'))*str2double(get(handles.I
_L,'string'));
                else
                    warndlg('Te falta insertar Corrientes ' , ' Error
faltan datos ');
                    warndlg('Te falta insertar Potencia ' , ' Error
faltan datos ');
                end
            end
        end
    end
end
```

```

        end
        set(handles.S, 'string', potencia);
    else
    end
end
if isnan(str2double(get(handles.V_f, 'string')))==0 %Si
hay dato de Voltaje de fase
    voltaje_linea=sqrt(3)*str2double(get(handles.V_f, 'string'));
    set(handles.V_L, 'string', voltaje_linea);
else
    if isnan(str2double(get(handles.V_L, 'string')))==0
%Si hay dato de Voltaje de linea
        voltaje_fase=str2double(get(handles.V_L, 'string'))/sqrt(3);
        set(handles.V_f, 'string', voltaje_fase);
    else
        warndlg('Te falta insertar Voltaje de Linea o de fase' , '
Faltan Datos ');
    end
end

elseif tipo_generador==2 %Tipo Delta

    if isnan(str2double(get(handles.S, 'string')))==0

voltage=str2double(get(handles.S, 'string'))/(3*str2double(get(handles.I_f
, 'string')));
        set(handles.V_L, 'string', voltage);
        set(handles.V_f, 'string', voltage);
    else
        if isnan(str2double(get(handles.I_f, 'string')))==0
            if isnan(str2double(get(handles.V_f, 'string')))==0

potencia=3*str2double(get(handles.V_f, 'string'))*str2double(get(handles.I
_f, 'string'));
            else
                if isnan(str2double(get(handles.V_L, 'string')))==0

potencia=3*str2double(get(handles.I_f, 'string'))*str2double(get(handles.V
_L, 'string'));
                else
                    warndlg('Te falta insertar voltaje ' , ' Error faltan
datos ');
                    warndlg('Te falta insertar Potencia ' , ' Error
faltan datos ');
                end
            end
            set(handles.S, 'string', potencia);
        else
        end
end
if isnan(str2double(get(handles.I_f, 'string')))==0 %Si
hay dato de Voltaje de fase
    corriente_linea=sqrt(3)*str2double(get(handles.I_f, 'string'));
    set(handles.I_L, 'string', corriente_linea);

```

```

        else
            if isnan(str2double(get(handles.I_L,'string')))==0
%Si hay dato de Voltaje de linea
                corriente_fase=str2double(get(handles.I_L,'string'))/sqrt(3);
                set(handles.I_f,'string',corriente_fase);
            else
                warndlg('Te falta insertar Corriente de Linea o de fase' , '
Faltan Datos ' );
            end
        end
    end

end

function c2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to c2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
global caso

e_frecuencia=isnan(str2double(get(handles.Frec,'string')));
e_ns=isnan(str2double(get(handles.Ns,'string')));
e_polos=isnan(str2double(get(handles.Polos,'string')));
if caso==1
    if e_ns==1 || e_polos==1
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    else

frecuencia=(str2double(get(handles.Polos,'string'))*str2double(get(handle
s.Ns,'string')))/120;
        set(handles.Frec,'string',frecuencia);
        set(handles.Frec,'enable','on');
    end
elseif caso==2
    if e_frecuencia==1 || e_polos==1
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    else

ns=(str2double(get(handles.Frec,'string'))*120)/str2double(get(handles.Po
los,'string'));
        set(handles.Ns,'string',ns);
        set(handles.Ns,'enable','on');
    end
elseif caso==3
    if e_frecuencia==1 || e_ns==1
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    else

polos=(str2double(get(handles.Frec,'string'))*120)/str2double(get(handles
.Ns,'string'));
        set(handles.Polos,'string',polos);
        set(handles.Polos,'enable','on');
    end
end
end

```

```

end

end

function c3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to c3 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
Ea=str2double(get(handles.ea,'string'));
voltaje=str2double(get(handles.v,'string'));

RV=((Ea-voltaje)/voltaje)*100
set(handles.rv,'string',RV);

function c4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to c4 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)
global caso2
if caso2==1
    if isnan(str2double(get(handles.t_ea,'string')))==0 &&
        isnan(str2double(get(handles.t_ia,'string')))==0

        ZS=str2double(get(handles.t_ea,'string'))/str2double(get(handles.t_ia,'string'));
        set(handles.t_zs,'string',ZS)
    else
        if isnan(str2double(get(handles.t_xs,'string')))==0 &&
            isnan(str2double(get(handles.t_ra,'string')))==0

            ZS=sqrt((str2double(get(handles.t_xs,'string'))^2+(str2double(get(handles.t_ra,'string'))^2));
            set(handles.t_zs,'string',ZS)
        else
            warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
            %      Ensaaje de error
        end
    end
elseif caso2==2
    if isnan(str2double(get(handles.t_ra,'string')))==0 &&
        isnan(str2double(get(handles.t_zs,'string')))==0
        XS=sqrt((str2double(get(handles.t_zs,'string'))^2-(str2double(get(handles.t_ra,'string'))^2));
        set(handles.t_xs,'string',XS);
        set(handles.t_xs,'visible','on');
    else
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    end
elseif caso2==3
    if isnan(str2double(get(handles.t_xs,'string')))==0 &&
        isnan(str2double(get(handles.t_zs,'string')))==0

```

```

        RA=sqrt((str2double(get(handles.t_zs,'string')))^2-
(str2double(get(handles.t_xs,'string'))^2);
        set(handles.t_ra,'string',RA);
        set(handles.t_ra,'visible','on');
    else
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    end
elseif caso2==4
    if isnan(str2double(get(handles.t_zs,'string')))==0 &&
isnan(str2double(get(handles.t_ia,'string')))==0

EA=(str2double(get(handles.t_zs,'string'))*(str2double(get(handles.t_ia,
'string'))));
        set(handles.t_ea,'string',EA);
        set(handles.t_ea,'visible','on');
    else
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    end
elseif caso2==5
    if isnan(str2double(get(handles.t_ea,'string')))==0 &&
isnan(str2double(get(handles.t_zs,'string')))==0

IA=(str2double(get(handles.t_ea,'string'))/(str2double(get(handles.t_zs,
'string'))));
        set(handles.t_ia,'string',IA);
        set(handles.t_ia,'visible','on');
    else
        warndlg('Esto es un aviso' , 'Curso_GUIDE' );
    end
end
end
end

```

## 6.4 FLUJOS DE POTENCIA

datos

**Datos de BUS**

# de BUS	Tipo de BUS	Voltage	Angulo	Carga MW	Carga MVARs	MW Generados	MVARs Generados	Q min	Q max	MVARs inyectados shunt capacitor	Guardar	Eliminar
#	0...	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

**Datos de LINEA**


BUS p	BUS q	Resistencia	Reactancia	1/2 Admitancia	Tipo / Tap transformador	Guardar	Eliminar
1	1	0	0	0	0		

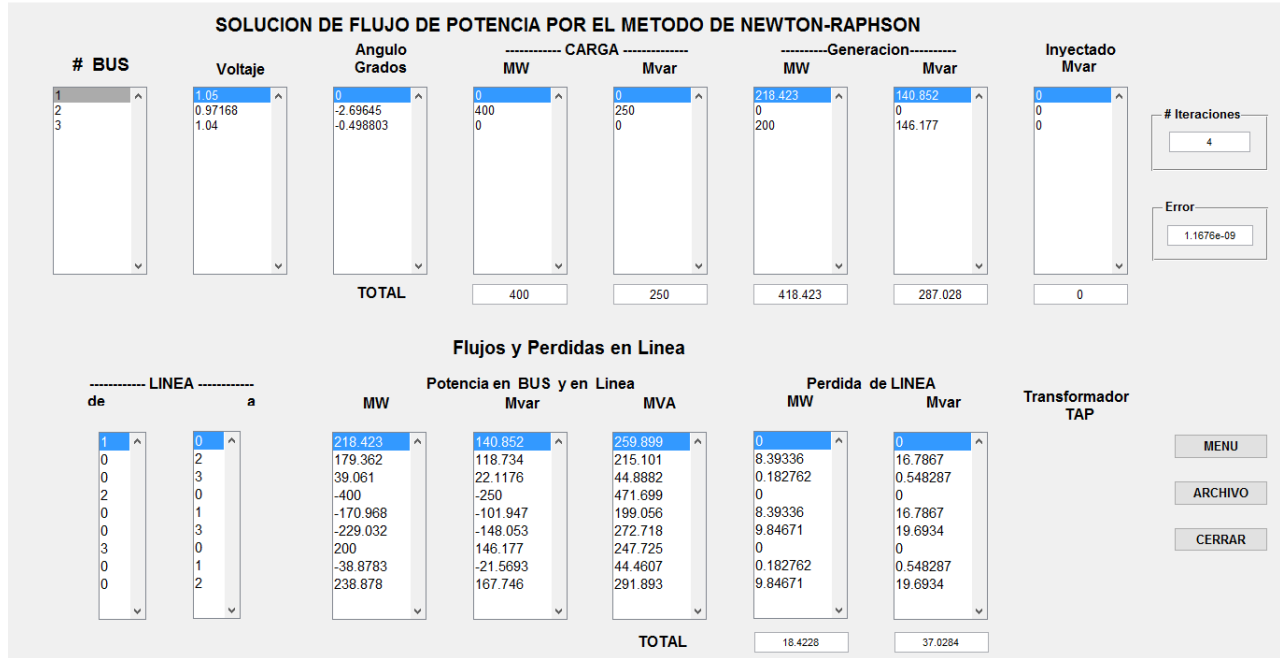
Numero de BUS

Base MVA

Tolerancia

Iteraciones Max





```

j=sqrt(-1);
i = sqrt(-1);
lineaP = LINEA(:,1);
lineaQ = LINEA(:,2);
R = LINEA(:,3);
X = LINEA(:,4);
Bc = j*LINEA(:,5);
a = LINEA(:,6);
nbr=length(LINEA(:,1));
nbus = max(max(lineaP), max(lineaQ));
Z = R + j*X;
y= ones(nbr,1)./Z;           %ADMITANCIA DE RAMAL
for n = 1:nbr
    if a(n) <= 0
        a(n) = 1;
    end
    Ybus=zeros(nbus,nbus);    % SE INICIA PARA YBUS CERO
    % FORMACION DE LOS ELEMENTOS FUERA DE LA DIAGONAL
    for k=1:nbr;
        Ybus(lineaP(k),lineaQ(k))=Ybus(lineaP(k),lineaQ(k))-y(k)/a(k);
        Ybus(lineaQ(k),lineaP(k))=Ybus(lineaP(k),lineaQ(k));
    end
end

% FORMACION DE LOS ELEMENTOS DE LA DIAGONAL
for n=1:nbus
    for k=1:nbr
        if lineaP(k)==n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k)/(a(k)^2) + Bc(k);
        elseif lineaQ(k)==n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k) +Bc(k);
        end
    end
end
end
    
```

```

clear Pgg
% PROGRAMA PARA ANALISIS DE FLUJOS DE POTENCIA POR NEWTON-RAPHSON
ns=0;
ng=0;
Vm=0;
delta=0;
ycarga=0;
deltad=0;
nbus = length(BUS(:,1));
TipoBus=[];
Vm=[];
delta=[];
Pd=[];
Qd=[];
Pg=[];
Qg=[];
Qmin=[];
Qmax=[];
Pk=[];
P=[];
Qk=[];
Q=[];
S=[];
V=[];
for k=1:nbus
    n=BUS(k,1);
    TipoBus(n)=BUS(k,2);
    Vm(n)=BUS(k,3);
    delta(n)=BUS(k,4);
    Pd(n)=BUS(k,5);
    Qd(n)=BUS(k,6);
    Pg(n)=BUS(k,7);
    Qg(n) = BUS(k,8);
    Qmin(n)=BUS(k,9);
    Qmax(n)=BUS(k,10);
    Qsh(n)=BUS(k,11);
    if Vm(n) <= 0
        Vm(n) = 1.0;
        V(n) = 1 + j*0;
    else
        delta(n) = pi/180*delta(n);
        V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
        P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva; %DIFERENCIA DE
POTENCIA GENERADA - DEMANDADA ENTRE BASE MVA
        Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva; %DIFERENCIA DE
POTENCIA REACTIVA GENERADA - DEMANDADA + INYECTADA ENTRE BASE MVA
        S(n) = P(n) + j*Q(n); %POTENCIA APARENTE
    end
end

for k=1:nbus
    if TipoBus(k) == 1 % 1 = bus de referencia 2 = Bus de voltaje
        controlado
            ns = ns+1;
        end

        if TipoBus(k) == 2
            ng = ng+1;
        end
    end
end

```



```

    ngs(k) = ng;
    nss(k) = ns;
end
Ym=abs(Ybus);           %VALOR ABSOLUTO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIA
t = angle(Ybus);       %VALOR EN ANGULO DE LA MATRIZ DE IMPEDANCIA
m=2*nbus-ng-2*ns;      % M = 2 * # DE BUSES - # DE BUSES DE VOLTAJE
CONTROLADO - 2 * # DE BUSES DE REFERENCIA

maxerror = 1;
converge=1;
iter = 0;
%%% PARA LINEAS EN PARALELO
mline=ones(nbr,1);
for k=1:nbr             % K=1 HASTA nbr EL NÚMERO DE
LINEAS
    for m=k+1:nbr
        if((lineaP(k)==lineaP(m)) & (lineaQ(k)==lineaQ(m))); % CUANDO SEA
IGUAL
            mline(m)=2;
        elseif ((lineaP(k)==lineaQ(m)) & (lineaQ(k)==lineaP(m)));
            mline(m)=2;
        else
            end
        end
    end
end
% INICIO DE ITERACIONES
clear A DC J DX

while maxerror >= tolerancia & iter <= maxiter % COMPARACION DEL RESULTADO CON
LA TOLERANCIA
    for ii=1:m
        for k=1:m
            Jacobiano(ii,k)=0; %CONTRUCCION DE JACOBIANO
        end
    end
end

iter = iter+1;
for n=1:nbus
    nn=n-nss(n);
    lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
    J11=0;
    J22=0;
    J33=0;
    J44=0;
    for ii=1:nbr
        if mline(ii)==1
            if lineaP(ii) == n | lineaQ(ii) == n
                if lineaP(ii) == n
                    l = lineaQ(ii);
                end

                if lineaQ(ii) == n
                    l = lineaP(ii);
                end

                J11=J11+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
            end
        end
    end
end
% LA SUMATORIA DE LOS ELEMENTOS J11

```

```

        J33=J33+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
% LA SUMATORIA DE LOS ELEMENTOS J33
        if TipoBus(n)~=1
            J22=J22+ Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
% LA SUMATORIA DE LOS ELEMENTOS J22
            J44=J44+ Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
% LA SUMATORIA DE LOS ELEMENTOS J44
        end
        if TipoBus(n) ~= 1 & TipoBus(l) ~=1
            lk = nbus+1-ngs(l)-nss(l)-ns;
            ll = l -nss(l);
                % ELEMENTOS FUERA DE LA DIAGONAL J1
            Jacobiano(nn, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)-
delta(n) + delta(l));
            if TipoBus(l) == 0                % ELEMENTOS FUERA DE LA
DIAGONAL J2
                Jacobiano(nn, lk) =Vm(n)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)-
delta(n) + delta(l));
            end
            if TipoBus(n) == 0                % ELEMENTOS FUERA DE LA
DIAGONAL J3
                Jacobiano(lm, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)-
delta(n)+delta(l));
            end
            if TipoBus(n) == 0 & TipoBus(l) == 0 % ELEMENTOS FUERA
DE LA DIAGONAL J4
                Jacobiano(lm, lk) =-Vm(n)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)-
delta(n) + delta(l));
            end
        end
    end

    end

    end

    Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;                %LOS VALORES DE
POTENCIA REAL CALCULADA
    Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;                %LOS VALORES DE
POTENCIA REACTIVA CALCULADA

    if TipoBus(n) == 1                % BUS DE REFERENCIA
        P(n)=Pk;                %
        Q(n) = Qk;
    end

        if TipoBus(n) == 2                % BUS DE VOLTAJE
CONTROLADO
            Q(n)=Qk;                %LOS REACTIVOS
ESPECIFICADOS SE HACEN REACTIVOS CALCULADOS
            if Qmax(n) ~= 0

                Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
                if iter <= 10                % ENTRE LA 2DA
Y 7MA ITERACION
                    if iter > 1                % MVARs DEL BUS
DE GENERACION
                        if Qgc < Qmin(n),                % EXAMINA DENTRO
DE LOS LIMITES DE V(m)

```

```

        Vm(n) = Vm(n) + 0.001;           %
elseif Qgc > Qmax(n),                 % DENTRO DE
PARAMETROS
        Vm(n) = Vm(n) - 0.001;
end                                     % ESPECIFICACION
DE LIMITES
        end
        end
        end
        if TipoBus(n) ~= 1             %CUANDO EL TIPO DE
BUS ES DIFERENTE DE 1 O QUE NO SEA BUS DE REFERENCIA
        Jacobiano(nn,nn) = J11;       %ELEMETOS DE LA
DIAGONAL DEL JACOBIANO J1
        DC(nn) = P(n)-Pk;            %DESAJUSTE DE
POTENCIA REAL = POTENCIA REAL ESPECIFICADA - POTENCIA REAL CALCULADA
        end
        if TipoBus(n) == 0
        Jacobiano(nn,lm) = 2*Vm(n)*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J22; %ELEMETOS DE LA
DIAGONAL DEL JACOBIANO J2
        Jacobiano(lm,nn)= J33;       %ELEMETOS DE LA
DIAGONAL DEL JACOBIANO J3
        Jacobiano(lm,lm) =-2*Vm(n)*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J44; %ELEMETOS DE LA
DIAGONAL DEL JACOBIANO J4
        DC(lm) = Q(n)-Qk;            %DESAJUSTE DE
POTENCIA REACTIVA = POTENCIA REACTIVA ESPECIFICADA - POTENCIA REACTIVA CALCULADA
        end
end                                     % DC = DESAJUSTE DE POTENCIAS

DX=Jacobiano\DC';                     %RESUELVE EL SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES CON
%EL METODO DE FACTORIZACION LU QUE ES UNA
%MODIFICACION DE LA ELIMINACION GAUSSIANA

for n=1:nbus
    nn=n-nss(n);
    lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
    if TipoBus(n) ~= 1
        delta(n) = delta(n)+DX(nn); %NUEVOS VALORES DE LOS ANGULOS
    end
    if TipoBus(n) == 0
        Vm(n)=Vm(n)+DX(lm);         %NUEVOS VALORES DE LA MAGNITUD DE
LOS VOLTAJES
    end
end

maxerror=max(abs(DC));                 %BUSCA EL VALOR MAXIMO ABSOLUTO
    if iter == maxiter && maxerror > accuracy
    fprintf(texto, '\nCUIDADO: LA SOLUCION ITERATIVA NO CONVERGE DESPUES ');
    fprintf(texto, '%g', iter); fprintf(texto, ' ITERACIONES.\n\n');
    converge = 0; pause
    else

        end
end

if converge ~= 1
    fprintf(texto, ' SOLUCION NO CONVERGE' );

```

```

else
    fprintf(texto, '
                SOLUCION DE FLUJO DE POTENCIA POR EL METODO DE
NEWTON-RAPHSON');
    fprintf(texto, '\n\n');

    fprintf(texto, '
                ----- DATOS DE BUS INICIAL -----
\n\n');
    fprintf(texto, ' Bus Tipo Voltaje Angulo
Generacion----- MVARs MVARs Inyectado');
    fprintf(texto, '\n No. BUS Mag. Grados MW Mvar MW
Mvar (min) (max) Mvar\n\n');

    for n=1:nbus
        fprintf(texto, ' %3.0f ', BUS(n,1)); %1 - #de BUS
        fprintf(texto, ' %1.0f ', BUS(n,2)); %2 - Tipo de Bus
        fprintf(texto, ' %3.3f ', BUS(n,3)); %3 - magnitud de
voltaje
        fprintf(texto, ' %3.3f ', BUS(n,4)); %4 - angulo de
fase
        fprintf(texto, ' %7.3f ', BUS(n,5)); %5 - carga MW
        fprintf(texto, ' %7.3f ', BUS(n,6)); %6 - carga MVARs
        fprintf(texto, ' %7.3f ', BUS(n,7)); %7 - MW
generados
        fprintf(texto, ' %7.3f ', BUS(n,8)); %8 - MVARs
generados
        fprintf(texto, '%7.3f ', BUS(n,9)); %9 - MVARs (min
)
        fprintf(texto, '%7.3f ', BUS(n,10)); %10- MVARs (max)
        fprintf(texto, '%7.3f \n', BUS(n,11)); %11-shunt
capacitor

    end
    fprintf(texto, '\n\n');
    fprintf(texto, '
                ----- DATOS DE LINEAS -----
\n\n');
    fprintf(texto, ' De A Resistencia Reactancia 1/2 Admitancia
Transformador ');
    fprintf(texto, '\n BUS BUS [ pu ] [ pu ] [ pu ]
Linea\n\n');
    for n=1:nbus
        fprintf(texto, '%3.0f ', LINEA(n,1)); %1 - De Bus
        fprintf(texto, '%3.0f ', LINEA(n,2)); %2 - A Bus
        fprintf(texto, '%7.3f ', LINEA(n,3)); %3 - Resistencia
pu
        fprintf(texto, ' %7.3f ', LINEA(n,4)); %4 - Reactancia pu
        fprintf(texto, ' %7.3f ', LINEA(n,5)); %5 - 1/2
admitancia en derivacion
        fprintf(texto, ' %2.03f \n', LINEA(n,6)); %6 - es igual a 1
si es una linea de transmision o %datos de tap
de transformador
    end

end
V = Vm.*cos(delta)+j*Vm.*sin(delta);
deltad=180/pi*delta;
i=sqrt(-1);
k=0;

```

```

for n = 1:nbus
    if TipoBus(n) == 1
        k=k+1;
        S(n)= P(n)+j*Q(n); %POTENCIA
    APARENTE
        Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n); %POTENCIA
    REAL GENERADA EN LOS BUS
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n); %POTENCIA
    REACTIVA GENERADA EN LOS BUS
        Pgg(k)=Pg(n);
        Qgg(k)=Qg(n);
        elseif TipoBus(n) ==2
            k=k+1;
            S(n)=P(n)+j*Q(n); %POTENCIA
        APARENTE
            Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n); %POTENCIA
        REACTIVA
            Pgg(k)=Pg(n);
            Qgg(k)=Qg(n);
        end
        ycarga(n) = (Pd(n)- j*Qd(n)+j*Qsh(n))/(basemva*Vm(n)^2);
    end
    BUS(:,3)=Vm';
    BUS(:,4)=deltad';
    Pgt = sum(Pg); %POTENCIA
    REAL TOTAL GENERADA EN LOS BUS
    Qgt = sum(Qg); %POTENCIA
    REACTIVA TOTAL GENERADA EN LOS BUS
    Pdt = sum(Pd); %POTENCIA
    REAL TOTAL DEMANDADA EN LOS BUS
    Qdt = sum(Qd); %POTENCIA
    REACTIVA TOTAL DEMANADA EN LOS BUS
    Qsht = sum(Qsh); %POTENCIA
    REACTIVA TOTAL INYECTADA
    set(handles.iter, 'String',iter);
    set(handles.error, 'String',maxerror);

    fprintf(texto, '\n\n          ----- SOLUCION -----          \n\n');

    fprintf(texto, '\n\n          NÚMERO DE ITERACIONES = %g          ', iter);
    fprintf(texto, '          Error = %g \n\n\n', maxerror);
    fprintf(texto, '          Bus Voltaje          Angulo          -----Carga-----          ---
    Generacion---          Inyectado');
    fprintf(texto, '\n          No.          Mag.          Grados          MW          Mvar          MW
    Mvar          Mvar');
    fprintf(texto, '\n
    \n');

    % resultados
    for n=1:nbus
        % ----- DESPLIEGA LOS RESULTADOS EN UN ARCHIVO TXT -----
        fprintf(texto, ' %3.0f ', n); %NÚMERO
    DE BUS
        fprintf(texto, ' %7.3f', Vm(n)); %MAGNITUD DE
    VOLTAJE
        fprintf(texto, ' %8.3f', deltax(n)); %ANGULO EN
    GRADOS
        fprintf(texto, ' %9.3f', Pd(n)); %POTENCIA
    REAL DEMANDADA

```

```

        fprintf(texto, ' %9.3f', Qd(n)); %POTENCIA
REACTIVA DEMANDADA
        fprintf(texto, ' %9.3f', Pg(n)); %POTENCIA
REAL GENERADA
        fprintf(texto, ' %9.3f ', Qg(n)); %POTENCIA
REACTIVA GENERADA
        fprintf(texto, '%8.3f\n', Qsh(n)); %POTENCIA
REACTIVA INYECTADA
end
% ----- DESPLIEGA LOS RESULTADOS EN EL GUI -----
set(handles.list_bus, 'String', BUS(:,1)); %NÚMERO DE BUS
set(handles.list_volt, 'String', Vm); %MAGNITUD DE
VOLTAJE
set(handles.list_ang, 'String', deltad); %ANGULO EN
GRADOS
set(handles.list_mw_d, 'String', Pd); %POTENCIA
REAL DEMANDADA
set(handles.list_mvar_d, 'String', Qd); %POTENCIA
REACTIVA DEMANDADA
set(handles.list_mw_g, 'String', Pg); %POTENCIA
REAL GENERADA
set(handles.list_mvar_g, 'String', Qg); %POTENCIA
REACTIVA GENERADA
set(handles.list_mvar_inyec, 'String', Qsh); %POTENCIA
REACTIVA INYECTADA
% ----- DESPLIEGA LOS RESULTADOS TOTALES EN UN ARCHIVO TXT -----
fprintf(texto, ' \n');
fprintf(texto, ' Total ');
fprintf(texto, ' %9.3f', Pdt);
fprintf(texto, ' %9.3f', Qdt);
fprintf(texto, ' %9.3f', Pgt);
fprintf(texto, ' %9.3f', Qgt);
fprintf(texto, '%9.3f\n\n', Qsht);
% ----- DESPLIEGA LOS RESULTADOS TOTALES EN LA GUI -----
set(handles.total_mw_d, 'String', Pdt);
set(handles.total_mvar_d, 'String', Qdt);
set(handles.total_mw_g, 'String', Pgt);
set(handles.total_mvar_g, 'String', Qgt);
set(handles.total_mvar_inyec, 'String', Qsht);

SLT = 0;
fprintf(texto, '\n');
fprintf(texto, ' Flujos y Perdidas en la Linea \n\n');
fprintf(texto, ' --Linea-- Flujo de Potencia en el bus y linea --
Perdida en Linea-- Transformador\n');
fprintf(texto, ' de a MW Mvar MVA
MW Mvar tap\n');
conteo4=1;
conteo5=1;
for n = 1:nbus
busprt = 0;
Bus_DE(1, conteo4)=(n);
Preal(conteo4)=P(n)*basemva;
Preactiva(conteo4)=Q(n)*basemva;
Paparente(conteo4)=abs(S(n)*basemva);
conteo4=conteo4+1;
for L = 1:nbr;
if busprt == 0
% ----- DESPLIEGA LOS RESULTADOS EN UN ARCHIVO TXT -----

```

```

fprintf(texto, ' \n');
fprintf(texto, '%6g', n);
fprintf(texto, ' %9.3f', P(n)*basemva);
fprintf(texto, ' %9.3f', Q(n)*basemva);
fprintf(texto, ' %9.3f\n', abs(S(n)*basemva));
busprt = 1;
% Bus_A(conteo5)='-';
conteo5=conteo5+1;
end
if lineaP(L)==n

    k = lineaQ(L);
    Ink = (V(n) - a(L)*V(k))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(n); %
CORRIENTE DEL NODO n AL NODO k
    Ikn = (V(k) - V(n)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(k); %
CORRIENTE DEL NODO k AL NODO n
    Snk = V(n)*conj(Ink)*basemva;
    Skn = V(k)*conj(Ikn)*basemva;
    SL = Snk + Skn;
%PERDIDA EN LA LINEA
    SLT = SLT + SL;
elseif lineaQ(L)==n
    k = lineaP(L);
    Ink = (V(n) - V(k)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(n);
    Ikn = (V(k) - a(L)*V(n))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(k);
    Snk = V(n)*conj(Ink)*basemva;
    Skn = V(k)*conj(Ikn)*basemva;
    SL = Snk + Skn;
    SLT = SLT + SL;

end
if lineaP(L)==n || lineaQ(L)==n
fprintf(texto, ' %12g', k);
Bus_A(conteo5)=(k);
conteo5=conteo5+1;

Bus_DE(conteo4)=0;
Preal(conteo4)=real(Snk);
Preactiva(conteo4)=imag(Snk);
Paparente(conteo4)=abs(Snk);
Pperdidamw(conteo4)=real(SL);

fprintf(texto, ' %9.3f', real(Snk));
fprintf(texto, ' %9.3f', imag(Snk));
fprintf(texto, ' %9.3f', abs(Snk));
fprintf(texto, ' %9.3f', real(SL));

set(handles.list_mw, 'String', Preal);
set(handles.list_mvar, 'String', Preactiva);
set(handles.list_mv, 'String', Paparente);
set(handles.list_p_mw, 'String', Pperdidamw);

if lineaP(L) ==n & a(L) ~= 1
    g(conteo4)=imag(SL);
    h(conteo4)=a(L);

    fprintf(texto, '%9.3f', imag(SL));
    fprintf(texto, ' %9.3f\n', a(L));

```

```

        set(handles.list_p_mvar, 'String', g);
%PERDIDA EN MVAR
        set(handles.list_tap, 'Visible', 'on');
        set(handles.list_tap, 'String', h);
%PONE LA RELACION DEL TRANSFORMADOR O LA LINEA DE TRANSMICION
        else
            fprintf(texto, '%9.3f\n', imag(SL));
            g(conteo4)=imag(SL);
%DESPLIEGALOS VALORES DE PERDIDAS EN MVAR EN LOS BUS
            set(handles.list_p_mvar, 'String', g);
        end
        conteo4=conteo4+1;
    else
    end
end
    t_matriz=length(Bus_DE)
    num2str(Bus_DE)
    for k=1:t_matriz;
        if Bus_DE(k)==0
            Bus_DE(1,k)=char(0);
        end
    end
    set(handles.list_de, 'String', Bus_DE);
    set(handles.list_a, 'String', Bus_A');
end
SLT = SLT/2; %PERDIDA TOTAL EN LA LINEA MW Y
MVAR
fprintf(texto, ' \n'); fprintf(texto, '
PERDIDAS TOTALES ');
fprintf(texto, '%9.3f', real(SLT)); fprintf(texto, '%9.3f\n', imag(SLT));

    set(handles.total_mvar_perdido, 'String', real(SLT));
    set(handles.total_mw_perdido, 'String', imag(SLT));

clear Ink Ikn SL SLT Skn Snk

```



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### Conclusiones

Este programa se realizó con la idea de desarrollar una herramienta para los alumnos del módulo de Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) - para sus materias - y fuese más simple la obtención de resultados a problemas de SEP, sin tener que pagar una licencia de un programa profesional como lo es Paladin DesignBase 5.0.

Cada aplicación tuvo su reto de programación, por las limitaciones específicas de cada caso, obteniéndose resultados muy cercanos a los de un programa profesional.

Los resultados de la aplicación para líneas de transmisión y distribución fueron comparados con el programa Paladin DesignBase 5.0 siendo casi iguales o muy aproximados. La aplicación no sólo despliega los resultados en pantalla sino también guarda un archivo txt para su impresión o para guardar los resultados.

En transformadores este programa ayuda a hacer los cálculos de voltajes y corrientes más rápidos en las diferentes configuraciones, mostrando su configuración básica.

En generadores este programa sirve para que dada una serie de aplicaciones estas se resuelvan u obtengan valores de una manera rápida y sencilla.

Este programa utilizó Matlab GUI para el diseño y la compilación, ya que es muy veloz y fácil de programar, además de que se puede realizar un programa ejecutable que se pueda utilizar en cualquier computadora, aunque no tuviera instalado Matlab.

### Recomendaciones

Tal vez se podría hacer un estudio y una programación más a fondo para obtener los mismos resultados que los programas profesionales y hacer más completa esta aplicación aportando y creciendo el número de aplicaciones para el área de Sistemas Eléctricos Potencia.

## BIBLIOGRAFÍA

1. J. Duncan Glover, Mulukutla S. Sarma, **Sistema de Potencia: Análisis y Diseño**, Tercera Edición, Cengage Learning Editores S.A. de C.V., EE. UU. , 2003.
2. Gomez Exposito, Antonio, Martinez Ramos, Jose Luis, Rosendo Macias, Jose Antonio, Romero Ramos, Esther, Riquelme Santos, Jesús M., **Sistemas Eléctricos de Potencia: Problemas y Ejercicios Resueltos**, Prentice Hall., Madrid, 2003.
3. John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., Power **System Analysis**, McGraw Hill, EE. UU.
4. Ing. Álvaro Acosta Montoya, **Análisis de Sistemas de Potencia**, Universidad de Pereira Facultad de Ingeniería Eléctrica, Colombia.
5. José Izquierdo Franco, **Tesis Análisis y Estudios de Líneas de Transmisión en CA Desbalanceadas** Universidad Autónoma de Nueva León Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica División de Posgrado, México ,2002.
6. Saadat Hadi., **Power System Analysis**, McGraw-Hill., New York, 1999.
7. John R. Carson, **Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return**, University of Waterloo, Canada, 2000.
8. William H. Kersting, **Distribution System Modeling and Analysis**, CRC Press LLC, EE. UU., 2001.
9. Gabriel Arguello Ríos, **Análisis y Control de Sistemas Eléctricos de Potencia**, Instituto Ecuatoriano de Electrificación, Ecuador, 1988.
10. Holly Moore, **MATLAB para Ingenieros**, Pearson Educación, México, 2007.
11. Stephen J. Chapman, **Máquinas Eléctricas**, McGraw-Hill, Quinta Edición, México, 2012.
12. Enríquez Harper, **El ABC de las Máquinas Eléctricas Transformadores**, Editorial Limusa, Primera Edición, México, 1987.
13. Bhag S. Guru, Hüseyin R. Hiziroglu, **Máquinas eléctricas y Transformadores**, Oxford University Press México, Tercera Edición, México, 2003.