



Universidad Nacional  
de Mar del Plata



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

# Software para el Cálculo de Corrientes de Cortocircuito

Autor: Palma, Francisco Damián

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Matricula: 9428

Tutor: Ferreyra, Rubén

Co-Tutor: Prado, Pedro

Nota:

Octubre 2006



RINFI es desarrollado por la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Universidad Nacional  
de Mar del Plata



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

# Software para el Cálculo de Corrientes de Cortocircuito

Autor: Palma, Francisco Damián

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Matricula: 9428

Tutor: Ferreyra, Rubén

Co-Tutor: Prado, Pedro

Nota:

Octubre 2006



Universidad Nacional  
de Mar del Plata



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

## Objetivo

El objetivo de este *Proyecto Final* es la realización de un Software didáctico para poder calcular corrientes de cortocircuitos, ya sean Trifásicas, Bifásicas o Monofásicas y de esta manera hacer que la realización de los cálculos mencionados sean de la manera más rápida y sencilla posible.

## Resumen

Este software fue hecho mediante los conocimientos aprendidos en las cátedras de *Instalaciones Eléctricas I* y *Sistemas CAD*. Lo que se hizo fue trasladar los conocimientos aprendidos en dichas materias, en lo que se refiere a ecuaciones y procedimientos para calcular las corrientes de cortocircuitos y llevarlos a un lenguaje de programación, siendo Visual Basic en este caso y de esta forma se logró que la realización de los cálculos mencionados anteriormente puedan ser

realizados de una forma muy práctica, rápida y sencilla y asegurar que los resultados obtenidos no tengan errores, salvo que el usuario introduzca valores incorrectos.

Los conocimientos aprendidos en *Sistemas CAD* sirvieron para crear una personalización en AutoCAD y de esta manera poder dibujar el *Diagrama Unifilar*, cuyo método se detalla a continuación.

## Conclusiones

- Los resultados generados con este software han sido comparados con cálculos efectuados manualmente encontrándose resultados muy satisfactorios.
- El programa cuenta con diversas características tales como:

-Personalización hecha en AutoCAD para el armado del diagrama Unifilar;



Universidad Nacional  
de Mar del Plata



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

-Relación directa entre AutoCAD y el Software mediante *Objetos*;

-Esquema del diagrama Unifilar con características principales de los parámetros utilizados;

-Mensajes de error;

-Librerías de Cables y Motores;

-Facilita el entendimiento de los parámetros calculados;

- Se obtuvo un programa con una alta velocidad de cálculos y precisión, características proporcionada por el empleo del Visual Basic 6.0.

- En líneas generales se puede afirmar que los objetivos planteados al inicio del proyecto final se cumplieron satisfactoriamente, obteniendo un software didáctico para poder calcular corrientes de cortocircuitos Trifásicas, Bifásicas y Monofásicas y también Corrientes de Impulso.



## Índice

<b>Capítulo 1:</b> Introducción al Cálculo de Cortocircuitos	2
Tipos de Cortocircuitos.	3
Fuentes de la corriente de cortocircuito y variación de ésta en función del tiempo.	4
Clases de defectos	7
Impedancias de los elementos del sistema	11
Consecuencia de los cortocircuitos	14
<b>Capítulo 2:</b> Principio de funcionamiento del software	15
Objetivo	15
Personalización	15
Creación del Diagrama Unifilar	18
Inicio de Cálculos	21
Utilización del Software	22
Recuperación de Datos	25
Datos de la Red de Alimentación	27
Datos del Transformador	31
Datos de los Motores	42
Datos de las Cargas	53
Datos de las Barras	61
Datos de Cables de Alimentación a Barras	67
Cálculos	74
Impedancia de cada Barra	76
Aporte de los Motores	85
<b>Capítulo 3:</b> Utilización del software con un ejemplo	87
Análisis de los resultados	104
Diagrama de Flujo	104
Conclusiones	111
Bibliografía	112



# Capítulo 1

## Introducción al Cálculo de Cortocircuitos

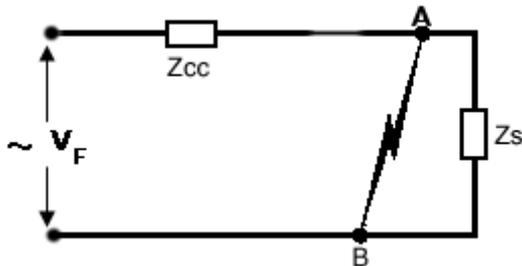
Se dice que se produce un cortocircuito en un sistema de potencia, cuando entran en contacto, entre si o con tierra, conductores correspondientes a distintas fases. Normalmente las corrientes de cortocircuitos son muy elevadas y las mismas oscilan entre 5 y 20 veces el valor máximo de la corriente de carga en el punto de falla.

Debido a que los procesos de cortocircuitos son complejos, es preciso recurrir a **hipótesis simplificativas**:

- Aunque los cortocircuitos (arcos) poseen impedancias variables, no se las consideran.
- Se prescinde de las corrientes de cargas previas.
- Las impedancias de la red se supondrán constantes.
- No se consideran las impedancias transversales de la línea.

En este caso simplificado, una línea se compone de los siguientes elementos: una fuente de tensión alterna constante  $V_F$  y una impedancia  $Z_{CC}$ , compuesta por todas las impedancias que hay aguas arriba del cortocircuito (conductores, transformadores y red de alimentación) y una impedancia  $Z_C$  de la carga.

Cuando se produce un defecto de impedancia despreciable entre los puntos A y B, aparece una intensidad de **cortocircuito permanente**,  $I_{CC}$ , muy elevada, limitada únicamente por la impedancia  $Z_{CC}$ . El circuito eléctrico se puede observar en la figura N° 1.



$$Z_{CC} = R + jX$$

$$I_{CC} = \frac{V_F}{Z_{CC}}$$

Fig. N° 1. Esquema simplificado de una línea eléctrica

Siendo:

$Z_{CC}$ =Impedancia del tramo de fase hasta el punto de falla.

## Tipos de Cortocircuitos

Cuando se produce un cortocircuito se origina una **corriente inicial de cortocircuito** cuya amplitud disminuye gradualmente y se llega a un valor que se denomina **corriente permanente de cortocircuito**.

Se pueden producir dos casos:

- a) **Corriente de cortocircuito simétrica:** Si al instante de producirse el cortocircuito la Fem. del generador fuese máxima, es decir si la relación  $R/X$  tiende a 0, la intensidad en este caso tiene forma simétrica.
- b) **Corriente de cortocircuito asimétrica:** Si al instante de producirse el cortocircuito la Fem. del generador fuese distinto de su valor máximo. La intensidad, en sus inicios, tiene forma asimétrica y amplitud mayor que la anterior, pues a la componente alterna se le superpone una componente unidireccional.

Los dos posibles casos se pueden visualizar en la figura N° 2

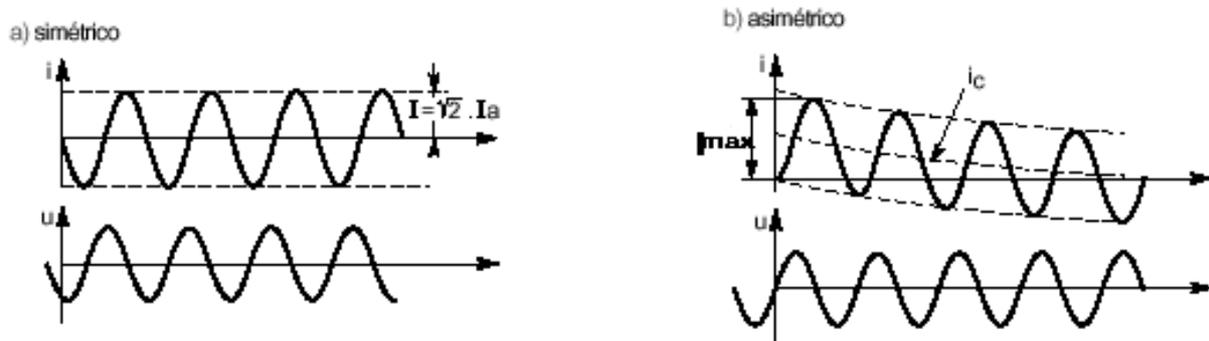


Fig. N° 2. Corrientes de corto circuitos simétrica y asimétrica

## Fuentes de la corriente de cortocircuito y variación de esta en función del tiempo

Al calcular las corrientes de cortocircuito hay que considerar, según el punto en que éste se produce, las fuentes que a continuación se indican:

- Acometida de la red (alimentación independiente- generadores equivalentes).
- Máquinas síncronas (generadores, motores, compensadores de fase).
- Máquinas asíncronas (generadores, motores).
- Accionamientos de corriente continua alimentados por convertidores estáticos, con servicio transitorio de ondulator.

La variación de la corriente de cortocircuito en el punto defectuosos, en función del tiempo, depende esencialmente de la fuente (o fuentes) correspondientes a considerar.

En la figura N° 3 se puede apreciar la variación de la corriente de cortocircuito en caso de que éste este **alejado del generador**, para la fase con el momento mas desfavorable. Hay que destacar que la corriente alterna de cortocircuito permanece constante respecto al tiempo, es decir,  $I''_K = I_K$

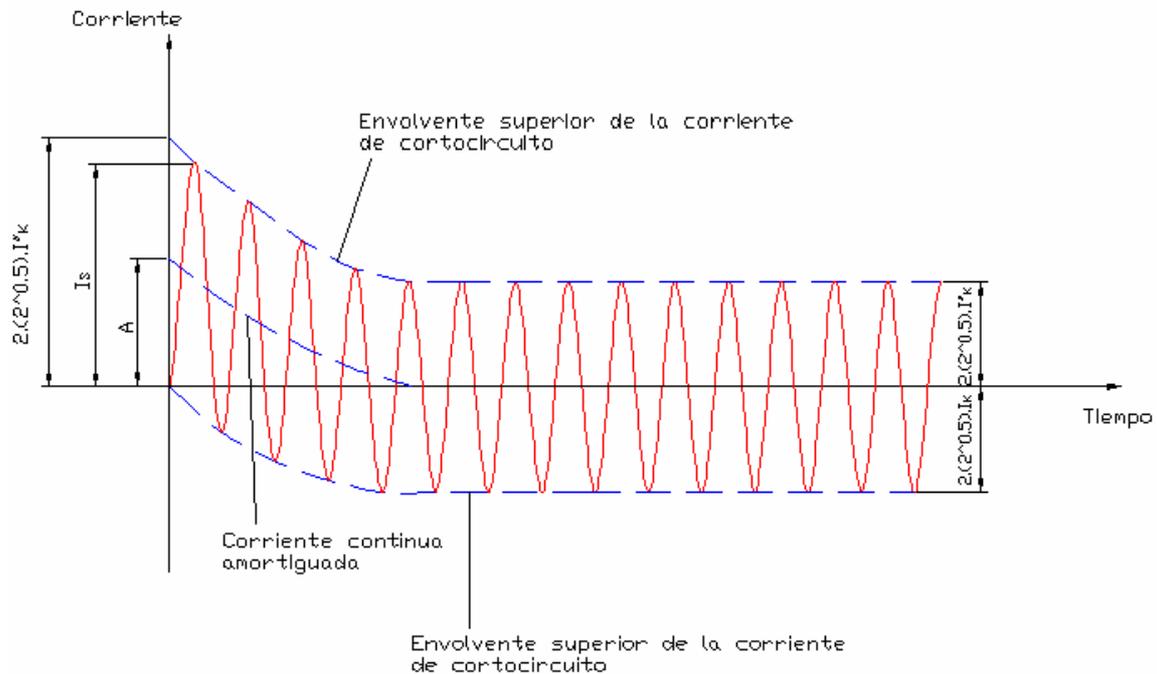


Fig. N° 3. Corriente de cortocircuito en caso de producirse éste lejos del generador, para la fase con el momento de conexión más desfavorable

Siendo:

- $I''_K$  Corriente alterna inicial de cortocircuito.
- $I_s$  Impulso de la corriente de cortocircuito.
- $I_K$  Corriente permanente de cortocircuito.
- $A$  Valor inicial de la componente de corriente continua.

La figura N° 4 representa la variación de la corriente de un cortocircuito producido en un generador sincrónico, para la fase con el momento más desfavorable. Este cortocircuito se considera **cercano al generador**, debido a que la corriente alterna de cortocircuito se amortigua en función del tiempo, desde la intensidad inicial de  $I''_K$  hasta alcanzar la intensidad de la corriente permanente  $I_K$ .

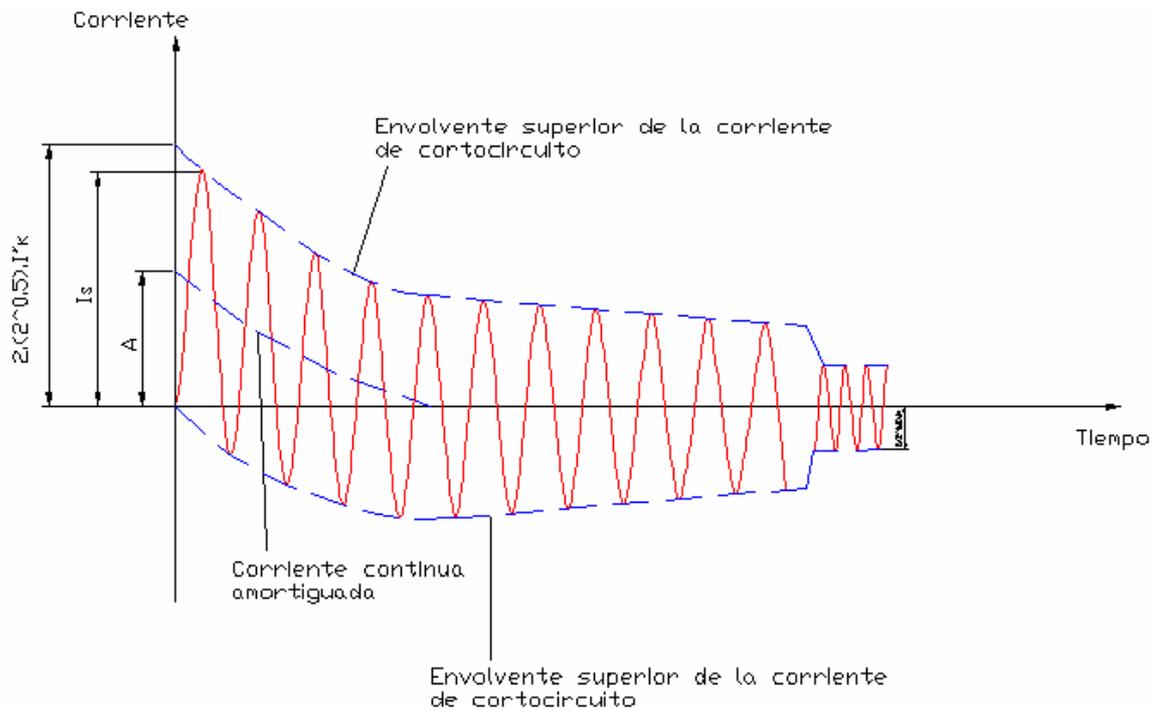


Fig. N° 4. Corriente de cortocircuito en caso de producirse éste cerca del generador, para la fase con el momento de conexión más desfavorable

Siendo:

- $I''_K$  Corriente alterna inicial de cortocircuito.
- $I_S$  Impulso de la corriente de cortocircuito.
- $I_K$  Corriente permanente de cortocircuito.
- $A$  Valor inicial de la componente de corriente continua.

Este cortocircuito es cercano al generador, y su corriente alterna se amortigua con relativa rapidez, desde la intensidad inicial  $I''_K$  hasta anularse, ya que las máquinas asíncronas no disponen de excitación independiente en el cortocircuito del rotor.

**Corriente de impulso:** es el valor instantáneo máximo de la intensidad de la corriente después de producirse el cortocircuito (valor de cresta). Tenemos:

$$I_S = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I''_K$$



Como se puede apreciar, la corriente de impulso se puede calcular a partir de la corriente subtransitoria, con el auxilio del Factor  $\chi$ . Este se obtiene de la figura N° 5, donde se ingresa con la relación R/X de la red hasta el punto de falla.

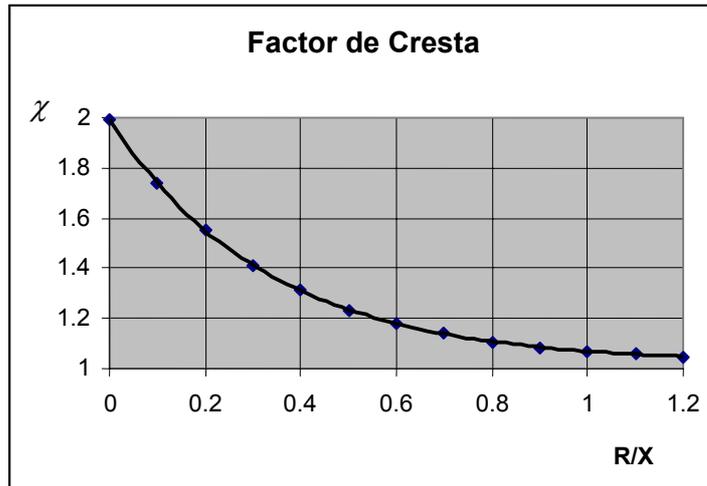


Figura N° 5. Factor de cresta.

El valor máximo teórico es de dos, esto implica que no habría amortiguamiento de la componente unidireccional. El mismo tiende a uno para relaciones de R/X tendiendo a infinito.

La ecuación a la que responde la grafica esta dada por:

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot R / X}$$

La corriente de impulso así calculada será la máxima posible en determinado punto de una red, pero puede ser menor si el cortocircuito se produce en un instante de la onda de tensión más favorable.

## Clases de defectos

En los sistemas trifásicos se distinguen, básicamente, 5 tipos de defectos, que se representan y se designan en la figura N° 6.

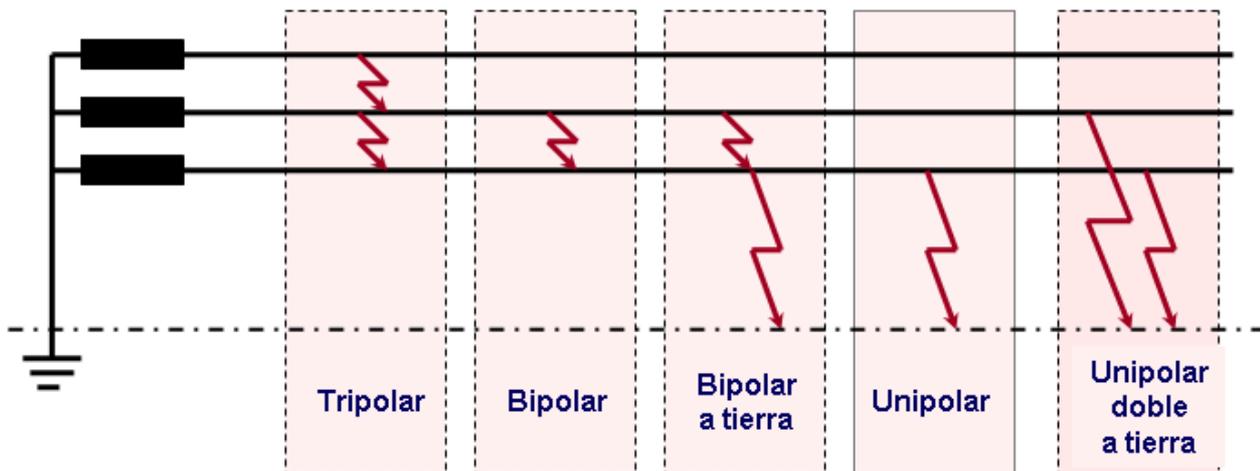


Fig. N° 6. Tipos de fallas

- **Cortocircuito Trifásico:** esta clase de defecto es el más fácil de comprender y de calcular. En este caso, se ponen en contacto las tres fases en un mismo punto del sistema y la corriente alterna de cortocircuito se distribuye simétricamente en los tres conductores. La tierra o el conductor neutro no participan en la transmisión de la corriente. Aun en el caso de que el punto estrella del cortocircuito tripolar estuviese unido a tierra, no se producirán otras corrientes de cortocircuito. Por este motivo, el cálculo de las corrientes de cortocircuitos puede efectuarse para un solo conductor. Desde el punto de vista estadístico, el porcentaje de cortocircuitos tripolares entre los defectos que se producen, es relativamente pequeño. No obstante, hay que tener en cuenta que en caso de **cortocircuitos Tripolares se establecen**, generalmente, **las corrientes de cortocircuitos de mayor intensidad** en el punto defectuoso considerado, y por ende, estos valores son decisivos al dimensionar los medios de servicio.

- **Cortocircuito Bipolar sin contacto a tierra:** en este caso, se establece en el punto defectuoso corrientes alternas iniciales de cortocircuito cuya intensidad es menor que en el caso de cortocircuitos Tripolar. Sin embargo, si el defecto tiene lugar en las proximidades de máquinas sincrónicas y/o de máquinas asincrónicas de potencia equivalente, la intensidad de la corriente Bipolar



puede llegar a superar en determinadas circunstancias, la del circuito Tripolar. Bajo estas circunstancias, la **intensidad de corriente bipolar es** determinada para el **diseño de los aparatos de maniobra** con vistas a la corriente alterna de ruptura necesaria o a la elección de los dispositivos de protección.

- **Cortocircuito Bipolar con contacto a tierra:** al producirse cortocircuitos Bipolares con contacto a tierra o dobles contactos a tierra se establecen condiciones similares. En el primer caso, la intensidad inicial de la corriente alterna de cortocircuito está comprendida entre los valores correspondientes al cortocircuito Tripolar o al Unipolar a tierra.

- **Cortocircuito Unipolar a tierra:** entre los cortocircuitos asimétricos es éste el de mayor importancia. Este tipo de defecto no solamente es el más frecuente en las redes de alta tensión con puesta a tierra activa del punto de estrella y en redes de baja tensión con punto estrella directamente puesto a tierra, sino que presenta el mayor margen de dispersión respecto a los valores de la intensidad. En casos especiales, **la intensidad de la corriente de cortocircuito Unipolar a tierra puede ser superior a la correspondiente al cortocircuito Tripolar.** No obstante, mientras que la corriente de cortocircuito Tripolar es, por regla general, determinante para dimensionar los medios de servicios intercalados en el circuito normal, hay que prestar especial atención a la corriente de cortocircuito Unipolar al determinar las tensiones de paso y de contacto, así como en las cuestiones relativas a las influencias y al dimensionamiento de los dispositivos de puesta a tierra.

- **Unipolar doble a tierra:** El contacto doble a tierra únicamente tiene importancia en las redes con extinción de los cortocircuitos a tierra o con punto estrella libre, para comprobar las cuestiones de protección e influencia, ya que la intensidad de la corriente de cortocircuito que se establece no puede ser mayor que la correspondiente a un cortocircuito Bipolar con o sin contacto a tierra.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

En la figura N° 7 se pueden apreciar los esquemas simplificados de las redes de secuencia según el tipo de defecto.

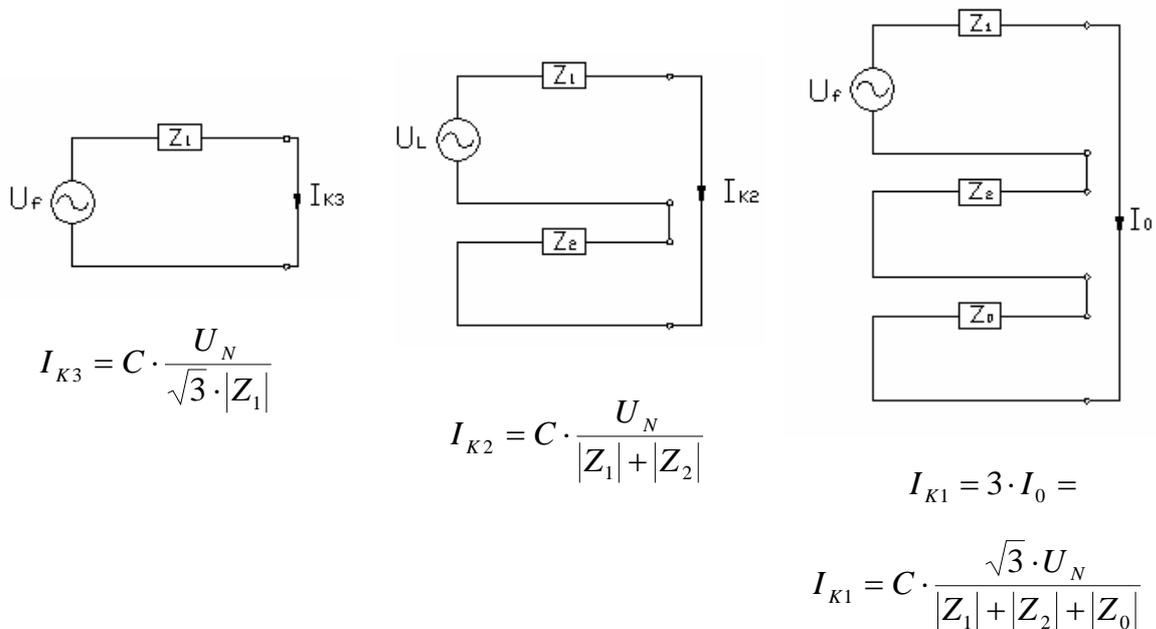


Fig. N° 7. Esquema simplificado de la línea eléctrica

Siendo:

$Z_{CC}$  Impedancia equivalente de todas las impedancias aguas arriba al cortocircuito.

$Z_1$  Impedancia a la componente directa de la corriente de cortocircuito.

$Z_2$  Impedancia a la componente inversa de la corriente de cortocircuito.

$Z_0$  Impedancia a la componente homopolar de la corriente de cortocircuito.

$C$  Factor para calcular cortocircuitos máximos o mínimos.

Las resistencias óhmicas de cables de baja tensión son generalmente mayores que las resistencias inductivas. En cambio, para la red antepuesta de alta tensión y para el transformador de alimentación son más grandes las reactancias que las resistencias óhmicas. Estas impedancias, con relaciones muy diferentes entre la parte real y la imaginaria, casi siempre se representan



en conexiones en serie. En muchos casos, es necesario un cálculo complejo con las impedancias  $Z = R + jX$  de los elementos de servicio.

Al calcular las intensidades de corto circuitos, suponemos siempre unas **hipótesis simplificativas** (debido a que los procesos de cortocircuitos son complejos), es por ello, que es necesario considerar un factor C.

Todos los aparatos han de proyectarse para los esfuerzos máximos térmicos y dinámicos de cortocircuito. Por otro lado, los dispositivos de protección contra cortocircuitos deben reaccionar con seguridad ante una intensidad baja de corto circuito. Para satisfacer estas exigencias, se han introducido las expresiones “intensidad máxima de cortocircuito” e “intensidad mínima de cortocircuito”.

Las intensidades máximas de cortocircuito en un cortocircuito Trifásico-Bifásico-Monofásico se obtienen con las impedancias del trayecto del cortocircuito a una temperatura del conductor de 20° C y con el factor  $C=1$ .

A cada intensidad de cortocircuito Trifásico-Bifásico-Monofásico corresponde una intensidad mínima de cortocircuito Trifásico-Bifásico-Monofásico. Esta se calcula al igual que la máxima, pero con el factor  $C = 0,95$  y las resistencias de los conductores a 80° C.

## Impedancias de los elementos del sistema

Las impedancias de los elementos eléctricos del sistema, se dan generalmente por el fabricante. Los valores mencionados a continuación solo son orientativos.

**Red de Alimentación:** El valor de la impedancia efectiva de la Red de Alimentación, de la que solo se conoce la potencia inicial de c.a. de cortocircuito  $S''_{KQ}$  ó la intensidad de c.a. inicial de cortocircuito  $I''_{KQ}$  en el punto de conexión Q, se calcula según:



$$Z_Q = 1,1 \cdot \frac{U_{NQ}^2}{S_{KQ}''} = 1,1 \cdot \frac{U_{NQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{KQ}''}$$

Siendo:

$U_{NQ}$  Tensión nominal de la red [KV].

$S_{KQ}''$  Potencia inicial de c.a. de cortocircuito [MVA].

$I_{KQ}''$  Intensidad inicial de c.a. de cortocircuito [KA].

$Z_Q = R_Q + jX_Q$  impedancia efectiva de la Alimentación de Red para cálculo de la intensidad de corto circuito [ $\Omega$ ].

Si no se conoce el valor exacto de la resistencia efectiva equivalente  $R_Q$  de la alimentación de red, se puede introducir  $R_Q = 0,1 \cdot X_Q$  con  $X_Q = 0,995 R_Q$ .

- **Transformador:** Las impedancias de secuencia directa e inversa de los transformadores son iguales, pero la impedancia homopolar puede diferir debido a que depende de la estructura del núcleo, de la conexión y de los demás arrollamientos. Se puede adoptar un valor promedio de la impedancia homopolar como:

$$Z_0 = 0,9 \cdot Z_1$$

Las impedancias de secuencia positiva de los transformadores se calculan de la siguiente forma:

$$Z_T = U_{CC} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad R_T = U_R \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Siendo:

$Z_T$  Impedancia del transformador [ $\Omega$ ].

$R_T$  Resistencia del transformador [ $\Omega$ ].

$X_T$  Reactancia del transformador [ $\Omega$ ].

$U_{CC}$  Tensión de cortocircuito de transformadores [%].

$U_R$  Caída de tensión óhmica de transformadores [%].

$U_N$  Tensión del lado de baja del transformador [KV].

$S_N$  Potencia aparente del transformador [KVA].



- **Generadores y Motores Síncronos:** Como impedancia de secuencia positiva y negativa de los generadores se utiliza para el cálculo de intensidad de cortocircuito.

$$Z = R_s + jX_d'' \quad X_d'' = \frac{X_d'' \cdot U_N^2}{S_N}$$

Siendo:

$S_{NG}$  La potencia nominal del generador [KV].

$U_{NG}$  La tensión nominal del generador [MVA].

$X_d''$  La reactancia inicial porcentual

Con suficiente seguridad se puede operar con:

$R_{SG} = 0,05 \cdot X_d$  con potencia nominal  $\geq 100$  [MVA].

$R_{SG} = 0,07 \cdot X_d$  con potencia nominal  $< 100$  [MVA].

$R_{SG} = 0,15 \cdot X_d$  con generadores de baja tensión

- **Motores Asíncronos:** La reactancia de cortocircuito  $X_M$  de los motores asíncronos se calcula partiendo de la relación  $I_{an}/I_{NM}$

$$X_M = \frac{1}{\frac{I_{an}}{I_{NM}}} \cdot \frac{U_{NM}}{\sqrt{3} \cdot I_{NM}} = \frac{U_{NM}^2}{\frac{I_{an}}{I_{NM}} \cdot S_{NM}}$$

Siendo:

$I_{an}$  Intensidad de arranque del motor.

Valor efectivo de la máxima intensidad consumida por el motor con el rotor parado y tensión y frecuencia nominales después de la atenuación de los efectos transitorios.

$U_{NM}$  La tensión nominal del motor.

$I_{NM}$  Intensidad nominal del motor.

$S_{NM}$  La potencia aparente del motor.

Los motores, tanto los asíncronos como los síncronos, aportan al cortocircuito solo en el periodo subtransitorio debido al rápido amortiguamiento.



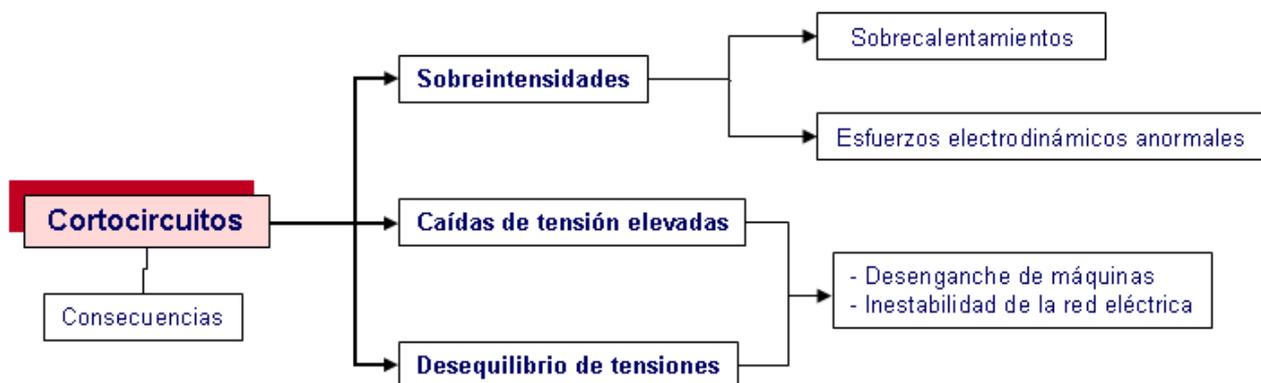
Es importante considerarlo especialmente por su incidencia sobre la corriente de impulso.

Se puede no considerar el aporte de los motores sin demasiado error cuando la suma de las corrientes nominales de los motores que puedan estar simultáneamente en servicio no supera el 1 % de la corriente subtransitoria aportada por la red.

$$\sum I_N < 0.01 \cdot I_{K3}''$$

## Consecuencia de los cortocircuitos

La existencia de un cortocircuito en una instalación eléctrica crea inconvenientes en la línea, tales como **sobreintensidades** que produce sobrecalentamientos y esfuerzos electrodinámicos; **caídas de tensión elevadas** y **desequilibrio de tensiones** que pueden llegar a producir el desenganche de máquinas e inestabilidad de la red eléctrica. En el siguiente diagrama de flujo se puede apreciar claramente dichas consecuencias.





## Capítulo 2

### Principio de funcionamiento del software

#### Objetivo

El objetivo de este *Proyecto Final* es la realización de un Software didáctico para poder calcular corrientes de cortocircuitos, ya sean Trifásicas, Bifásicas o Monofásicas y de esta manera hacer que la realización de los cálculos mencionados sean de la manera más rápida y sencilla posible.

Este software fue hecho mediante los conocimientos aprendidos en las cátedras de *Instalaciones Eléctricas I* y *Sistemas CAD*. Lo que se hizo fue trasladar los conocimientos aprendidos en dichas materias, en lo que se refiere a ecuaciones y procedimientos para calcular las corrientes de cortocircuitos y llevarlos a un lenguaje de programación, siendo Visual Basic en este caso y de esta forma se logro que la realización de los cálculos mencionados anteriormente puedan ser realizados de una forma muy práctica, rápida y sencilla y asegurar que los resultados obtenidos no tengan errores, salvo que el usuario introduzca valores incorrectos.

Los conocimientos aprendidos en *Sistemas CAD* sirvieron para crear una personalización en AutoCAD y de esta manera poder dibujar el *Diagrama Unifilar*, cuyo método se detalla a continuación.

#### Personalización

La forma de “cargar” la personalización para poder empezar a utilizar el software es muy sencilla y su explicación se detalla a continuación.

Lo primero que se debe hacer es guardar en el directorio C: la carpeta *Personalización*. Esta carpeta contiene el software (*Cálculos*), juntos con los *Iconos* y *Bloques* que forman parte de la barra de herramientas que se utiliza



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

para la creación del diagrama unifilar. En el caso de que usuario ya posea dibujado en AutoCAD el diagrama unifilar, podrá llevarlo al archivo *Dibujo\_Base.dwg* que se encuentra en la carpeta de Personalización y de esta manera podrá tener acceso a la gama de colores establecida por el software y también a las dimensiones del *Layout*.

Una vez que se ha guardado la carpeta *Personalización* en el directorio *C*, el usuario ya está en condiciones de poder cargar la personalización en AutoCAD. Para ello, deberá abrir dicho programa y escribir en la línea de comandos la palabra. *Menuload* y aparecerá la siguiente pantalla:

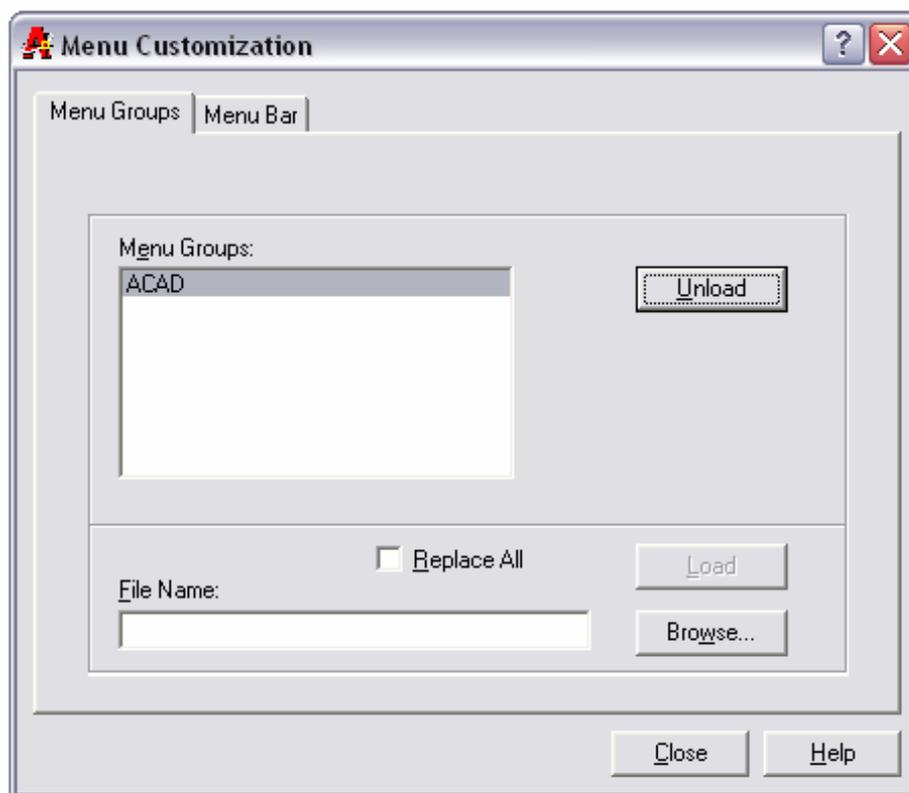


Fig. N° 1. Menú Customización

Presionando sobre el botón **Browse** abrirá la siguiente pantalla y se deberá buscar en el directorio *C:/Personalización* el archivo *ESTE MNS*, tal como lo indica la figura N° 2.

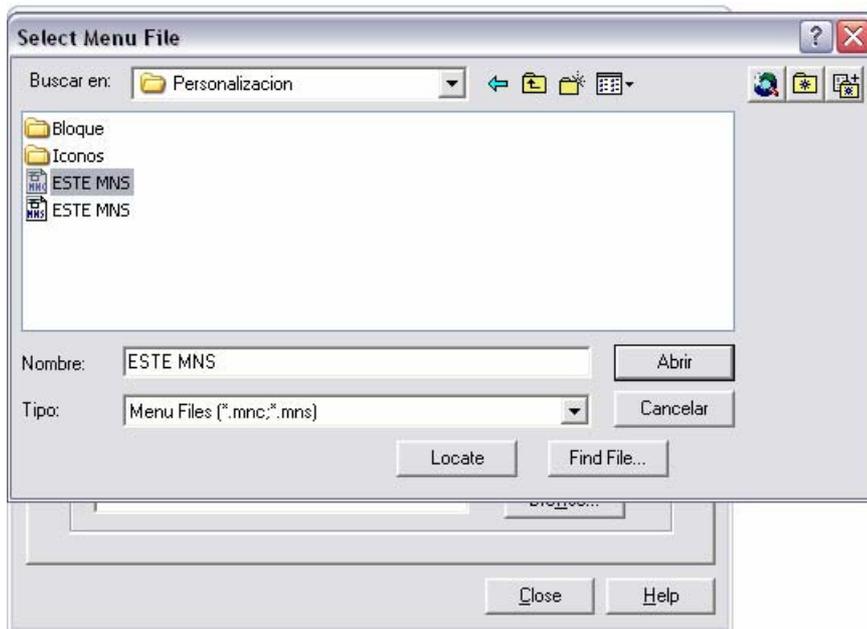


Fig. N° 2. Selección del archivo ESTE MNS

Finalizada la selección del archivo se tendrá cargar el archivo seleccionado, siendo *ESTE MNS* en este caso y presionando el botón **Load** (Cargar) automáticamente aparecerá sobre la pantalla de AutoCAD la barra de personalización cerada.

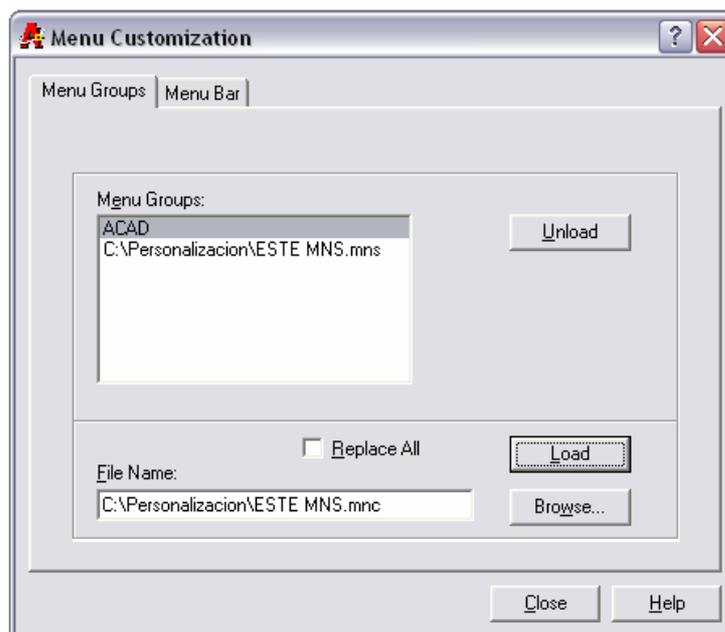


Fig. N° 3. Selección del archivo ESTE MNS



La barra de herramientas que aparecerá en la pantalla de AutoCAD se muestra en la figura N° 4 y a continuación se detalla su correcta aplicación.



Fig. N° 4. Barra de herramientas

Para cargar la macro, el usuario deberá ir a la barra de herramientas (*Tools*) de AutoCAD e ir a Load Application y seleccionar la opción *Startup Suite*. En esa sección deberá seleccionar la macro que se encuentra en C:/Personalización y el nombre de la misma es *Cálculo\_01*. Esta serie de pasos se deberá hacer una sola vez, ya que AutoCAD internamente guarda a la macro.

## Creación del Diagrama Unifilar

Para poder dibujar de una forma más rápida y sencilla el *Diagrama Unifilar* utilizando el Software AutoCAD, se creó una personalización, sobre el mismo programa, la cual consta de seis botones.

-  **Transformador:** mediante este botón, el usuario puede incorporar *Transformadores* para empezar a dibujar el diagrama unifilar. El *icono* que representa a los Transformadores se encuentra en color rojo, con el fin de tener un mejor entorno visual, como lo indica la siguiente figura N° 5.



Fig. N° 5. Símbolo del Transformado.



-  **Motor:** mediante este botón, el usuario puede incorporar *Motores* para empezar a dibujar el diagrama unifilar. El *icono* que representa a los Motores se encuentra en color gris, como lo indica la siguiente figura N° 6.



Fig. N° 6. Símbolo del Motor.

-  **Carga:** mediante este botón, el usuario puede incorporar *Cargas* para empezar a dibujar el diagrama unifilar. El *icono* que representa a las Cargas se encuentra en color celeste, como lo indica la siguiente figura N° 7.



Fig. N° 7. Símbolo de la Carga.

-  **Cable:** mediante este botón, el usuario puede incorporar *Cables* para empezar a dibujar el diagrama unifilar. El *icono* que representa a los Cables se encuentra en color azul, como lo indica la siguiente figura N° 8.



Fig. N° 8. Símbolo del Cable.

-  **Barras:** mediante este botón, el usuario puede incorporar *Barras* para empezar a dibujar el diagrama unifilar. El *icono* que representa a las Barras se encuentra en color azul, como lo indica la siguiente figura N° 9.



Fig. N° 9. Símbolo de la Barra.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Cabe destacar que todas las aplicaciones para el armado del diagrama unifilar ya se encuentran a escala y no se debe modificar la misma con el fin de que el Software funcione correctamente.

La forma de dibujar el diagrama unifilar sobre la pantalla del AutoCAD es de izquierda hacia la derecha, tal como se muestra en la figura N° 10.

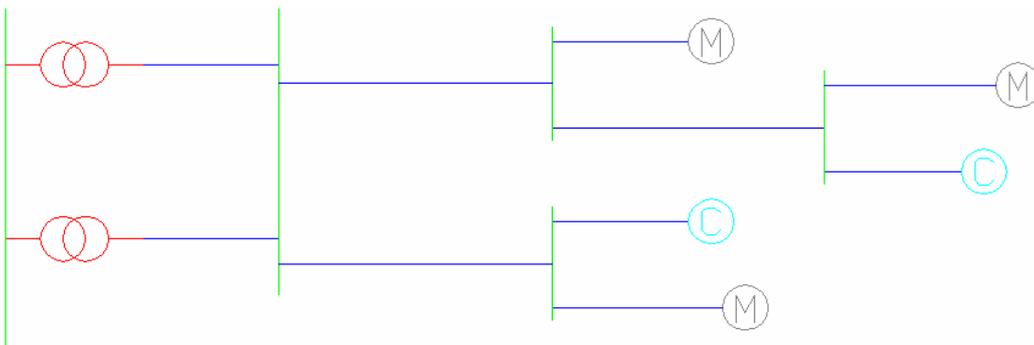


Fig. N° 10. Forma correcta de dibujar el Diagrama Unifilar.

Esta forma específica de dibujar el *Diagrama Unifilar* es muy necesaria debido a que tanto las variables que maneja este software como los cálculos internos que se realizan, utilizan como referencia las posiciones de todos los componentes que forman el diagrama unifilar al cual se lo quiere analizar.

Si el usuario ya posee dibujado el diagrama unifilar sobre el AutoCAD, debe verificar que la escala de todos los componentes, mencionados anteriormente, sea similar a los del Software. Esto es necesario debido a que a medida que se van ingresando los datos correspondientes a *Transformadores, Motores, Cargas, Cables o Barras*, el programa va escribiendo sobre la pantalla del AutoCAD, por encima de cada uno, los datos que se van cargando. Si las escalas no son compatibles, se creará un dibujo difícil de poder apreciar.

-  **Tesis:** mediante este botón, el usuario puede empezar a usar el programa. Cuando se presione sobre dicho botón, aparecerá sobre la pantalla



## Facultad de Ingeniería Proyecto Final

de AutoCAD, el software para empezar a cargar los datos necesarios para la realización del cálculo de cortocircuitos.

El software fue realizado en el mismo AutoCAD, mediante el lenguaje de Visual Basic, el cual se centra en una programación orientada a objetos.

“La programación orientada a objetos no es una característica de un lenguaje de programación sino un método o filosofía de trabajo en el contexto de la programación, aplicable a cualquier lenguaje en mayor o menor medida, dependiendo de las capacidades que ofrezca cada lenguaje”.

“La programación orientada a objetos (POO) ha tomado las mejores ideas de la programación estructurada y las ha combinado con varios conceptos nuevos y potentes que incitan a contemplar las tareas de programación desde un nuevo punto de vista. La programación orientada a objetos permite descomponer más fácilmente un problema en subgrupos de partes relacionadas del problema. Entonces, utilizando el lenguaje se pueden traducir estos subgrupos a unidades autocontenidas llamadas objetos”.

“Un objeto es una unidad que contiene datos y las funciones que operan sobre esos datos. A los elementos de un objeto se los conoce como miembros; las funciones que operan sobre los objetos se denominan métodos y los datos se denominan miembros datos”.

## Inicio de cálculos

**Aclaración:** para que el software tenga un rendimiento óptimo, es necesario que el usuario configure la sección **osnap**, según lo indica la figura N° 11.

*Fuente Bibliográfica: Traducción efectuada del Libro Using Visual Basic 5 (Platinum Edition).*

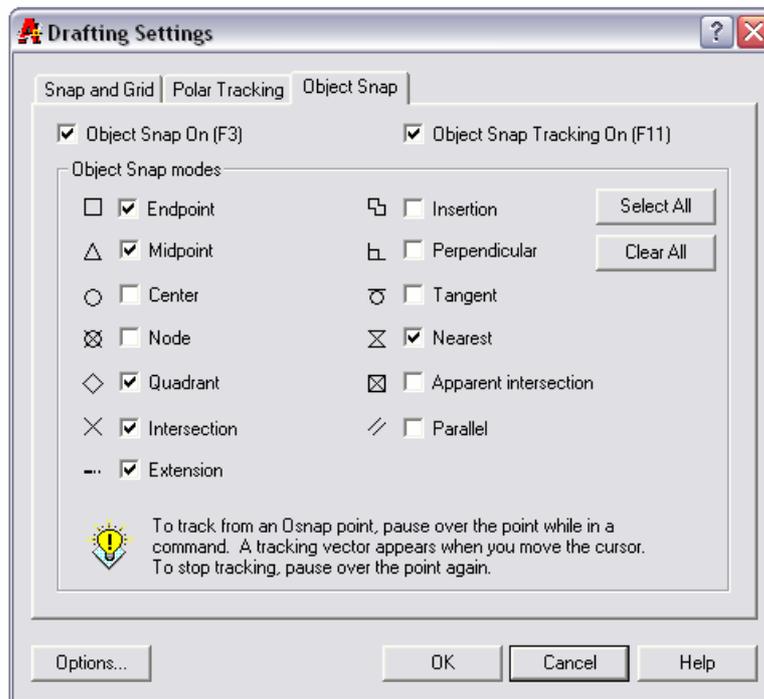


Fig. N° 11. Configuración del comando OSNAP

Esta aclaración es de real importancia para la selección de coordenadas de todos los componentes involucrados en el cálculo de corrientes de cortocircuitos, ya que si faltase la configuración de algunos de los ítems del *Osnap*, se dificultara la perfecta selección de los componentes (Transformadores, Motores, Cargas, Cables y Barras) y el programa indicará error.

Una vez que ya esta armado el diagrama unifilar el cual se quiere estudiar para poder calcular las corrientes de cortocircuito, el usuario ya está en condiciones de empezar a utilizar el software.

## Utilización del Software

El primer formulario que aparece al iniciar el programa se puede visualizar en la figura N° 12.

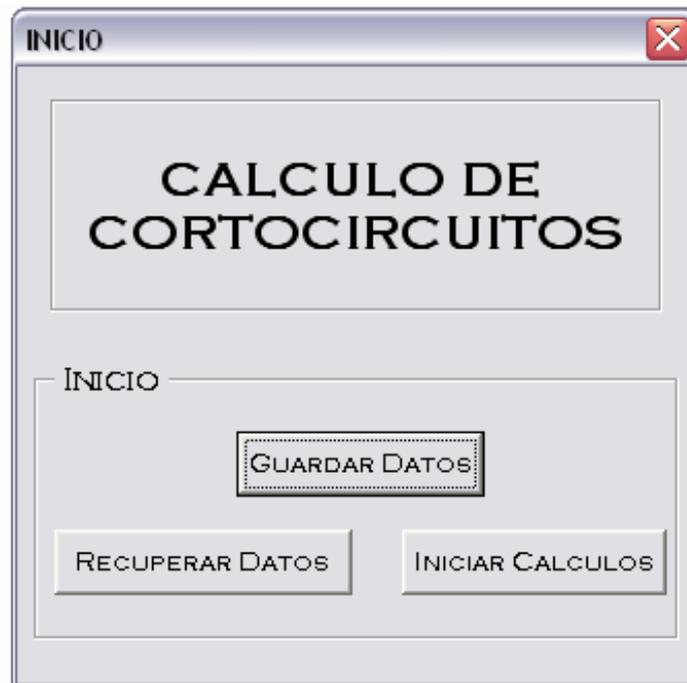


Fig. N° 12. Formulario de Inicio.

Como se puede apreciar, el formulario consta de 3 botones y la aplicación de cada uno se detalla a continuación.

Para empezar a utilizar el programa, el primer botón que se debe presionar es el de **Guardar Datos**. Mediante este botón el usuario crea un archivo Excel en el cual se van a ir guardando todos los datos introducidos por el usuario y también los calculados por el software, con la finalidad de poder recuperarlos una vez que ha finalizado el programa o bien si en algún instante el usuario desea salir del programa cuando todavía no ha finalizado de introducir todos los parámetros correspondientes para realizar el o los cálculos correspondientes. Todos los datos se encuentran en hojas separadas, cada una de ellas con su correspondiente nombre, dentro de un mismo archivo. Este detalle fue realizado para que el usuario cargue los datos una sola vez y que los mismos puedan ser recuperados cuando el usuario así lo disponga.

Lo enunciado anteriormente se puede apreciar con mayor claridad, mediante las figuras N° 13 y 14, en las cuales aparecen los formularios anteriormente mencionados.



Fig. N° 13. Formulario para crear un archivo Excel donde guardar los datos.

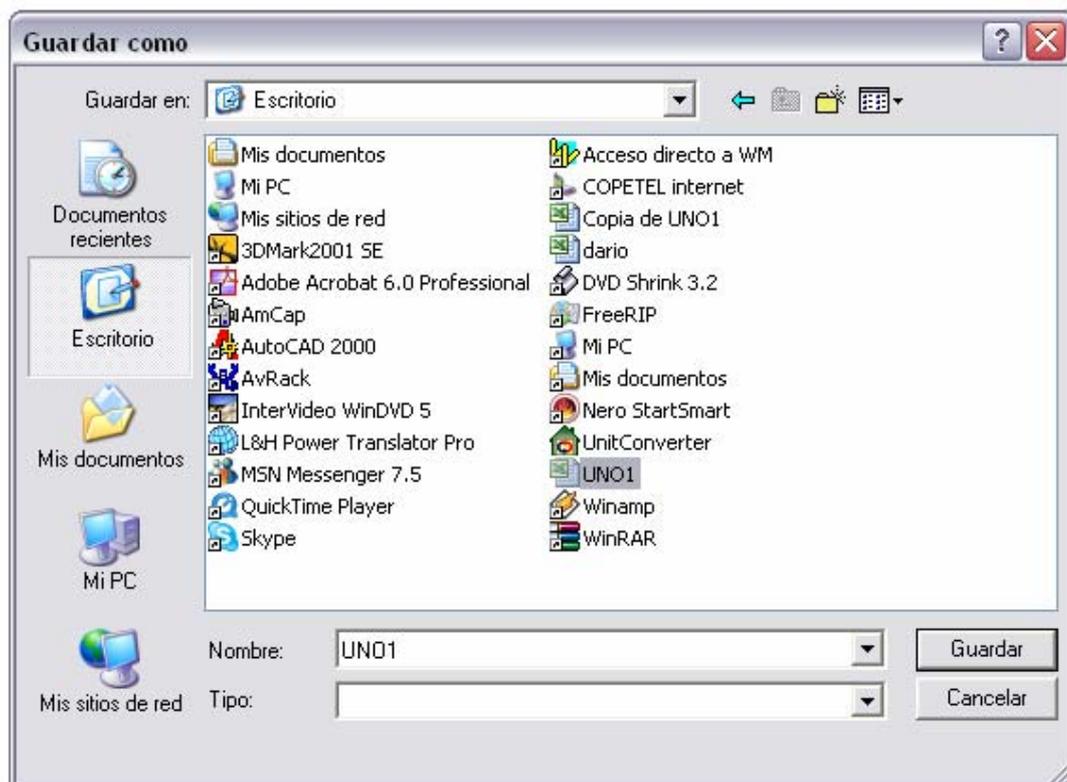


Fig. N° 14. Formulario para elegir donde guardar el archivo Excel creado.



Una vez que se hicieron los pasos anteriormente mencionados, el usuario ya está en condiciones de empezar a cargar todos los datos correspondientes. Para ello deberá presionar sobre el botón **Iniciar Cálculos** e inmediatamente aparecerá el formulario **Red de Alimentación**.

## • Recuperación de Datos

Si el usuario desea recuperar todos los datos, tanto los introducidos como los calculados o bien si no terminó de ingresar todos los datos y desea continuar con el cálculo, deberá presionar el botón **Recuperar Datos** y aparecerá un formulario donde se podrá seleccionar el archivo en Excel donde se guardaron los datos y continuar con la carga de los mismos.

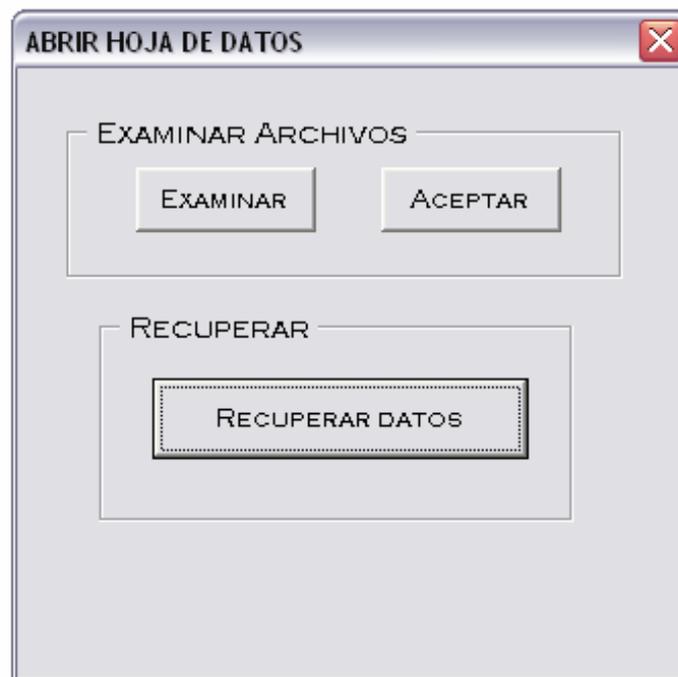


Fig. N° 15. Formulario para examinar el directorio.

Una vez presionado el botón examinar, aparece una pantalla, como se muestra en la figura N° 16, en la cual se podrá elegir el archivo a abrir, con la finalidad anteriormente mencionada.

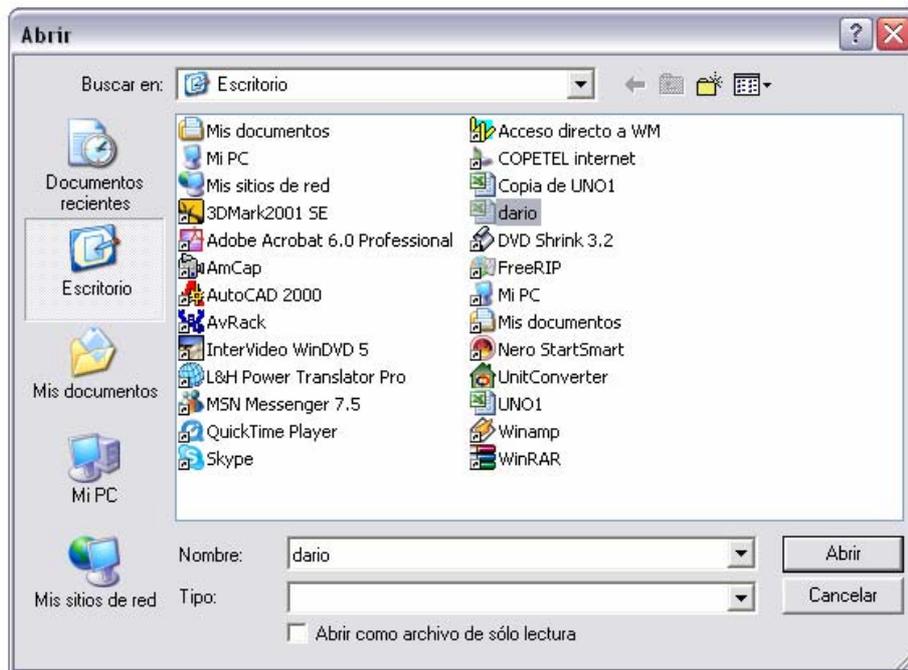


Fig. N° 16. Formulario para examinar el directorio.

En la figura N° 17 se puede apreciar como queda el archivo Excel una vez que se terminan de completar todos los datos correspondientes



Fig. N° 17. Archivo Excel con detalle de todos los valores ingresados y calculados.

Presionando sobre la hoja correspondiente, se podrá tener acceso a todos los valores introducidos y también a los calculados por el software.

Una vez que ya se ha seleccionado el archivo, se deberá presionar, nuevamente, el botón **Recuperar Datos** y el software, automáticamente, le indicará al usuario cual fue el último parámetro que introdujo y a partir de ahí tendrá que seguir con completando los datos que el programa requiera para realizar los cálculos.



Si ya terminó de cargar todos los datos y el usuario quiere modificar el diagrama unifilar, ya sea para incorporar o para sacar algunos de los componentes que forman parte de la instalación, el usuario lo podrá realizar directamente desde el archivo Excel y presionando el botón **Recuperar Datos** se calcularan de nuevos las corrientes de corrientes de cortocircuitos seleccionadas por el usuario.

### • Datos de la Red de Alimentación

El primer formulario que aparece en el Software para ser completado es el correspondiente a la *Red de Alimentación*. En el mismo aparece una serie de TextBox, los cuales deben ser completados por el usuario, tal cual se observa en la figura N° 18.

RED DE ALIMENTACION

POTENCIA DE C. C. SUBTRANSITORIA  $S_{k''}$  MVA

RELACION R/X

TENSION PRIMARIA KV

TENSION SECUNDARIA KV

CALCULAR POTENCIA INFINITA

IMPEDANCIA  $Z_{RMT}$  Ω

IMPEDANCIA  $Z_{RBT}$  Ω

ATRÁS

RESISTENCIA  $R_{RBT}$  Ω

REACTANCIA INDUCTIVA  $X_{RBT}$  Ω

ASIGNAR

SALIR

Fig. N° 18. Formulario de la Red de Alimentación.

En este formulario, el usuario posee dos opciones:

- La primera de ellas es completando los datos de la Red de alimentación, que son:



$S''_K$  = Potencia de cortocircuito subtransitoria.

$U_1$  = Tensión primaria.

$U_2$  = Tensión secundaria.

Y la relación R/X de la red.

Cabe señalar, que para el ingreso de un numero que no sea entero, el mismo debe ser ingresado mediante el carácter punto (.). Dicha aclaración se puede observar en la figura N° 19.

RED DE ALIMENTACION	
POTENCIA DE C. C. SUBTRANSITORIA $S''_K$	RELACION R/X
350 MVA	0.5
TENSION PRIMARIA	TENSION SECUNDARIA
13.2 KV	0.4 KV
CALCULAR	POTENCIA INFINITA
IMPEDANCIA $Z_{RMT}$	IMPEDANCIA $Z_{RBT}$
Ω	Ω
RESISTENCIA $R_{RBT}$	REACTANCIA INDUCTIVA $X_{RBT}$
Ω	Ω
ATRAS	ASIGNAR
SALIR	

Fig. N° 19. Formulario de la Red de Alimentación con datos ingresados por el usuario.

Una vez completados todos los TextBox, se presiona el botón **Calcular** y, automáticamente, aparecerán sobre el formulario los valores de la Impedancia de media tensión y baja tensión, así como también aparecerán los valores de la resistencia y reactancia de la red referidos a baja tensión.

Las ecuaciones que se utilizaron para hacer los cálculos, mencionados anteriormente, son:

$$Z_{RMT} = 1,1 \cdot \frac{U_1^2}{S''_K} = 1,1 \cdot \frac{U_1}{\sqrt{3} \cdot I''_K} \quad Z_{RBT} = Z_{RMT} \cdot \left( \frac{U_2}{U_1} \right)^2$$



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Y mediante la relación R/X, se calcula la resistencia y reactancia del lado de baja tensión, las cuales son mostradas en los TextBox, mediante la siguiente relación.

$$X_{RBT} = \frac{Z_{RBT}}{\sqrt{(1 + A^2)}} \quad \text{ó} \quad R_{RBT} = \frac{Z_{RBT} \cdot A}{\sqrt{(1 + A^2)}}$$

Siendo

- $Z_{RMT}$  Impedancia de la red de alimentación del lado de media tensión [ $\Omega$ ].
- $Z_{RBT}$  Impedancia de la red de alimentación del lado de baja tensión [ $\Omega$ ].
- $R_{RBT}$  Resistencia de la red de alimentación del lado de baja tensión [ $\Omega$ ].
- $X_{RBT}$  Reactancia de la red de alimentación del lado de baja tensión [ $\Omega$ ].
- A Relación R/X de la red de alimentación.

De la misma forma, también se calcula la resistencia y reactancia del lado de media tensión, las cuales no aparecen sobre el formulario pero quedan guardadas dentro de la programación del Visual Basic, con el fin de poder calcular la corriente de cortocircuito del lado de media tensión.

Los valores ingresados de tensión primaria y de tensión secundario son guardados y utilizados por el siguiente formulario (*Transformador*). Esta simplificación esta hecha con el fin de agilizar los cálculos y, por ende, que el programa sea más rápido.



RED DE ALIMENTACION	
POTENCIA DE C. C. SUBTRANSITORIA SK''	RELACION R/X
350 MVA	0.5
TENSION PRIMARIA	TENSION SECUNDARIA
13.2 KV	0.4 KV
<b>CALCULAR</b>	POTENCIA INFINITA
IMPEDANCIA ZRMT	IMPEDANCIA ZRBT
0.547 Ω	0.0005022 Ω
RESISTENCIA RRBT	REACTANCIA INDUCTIVA XRBT
0.00022455 Ω	0.0004491 Ω

Fig. N° 20. Formulario de la Red de Alimentación con valores calculados.

Cabe señalar, que los resultados aparecen resaltados en *negrita* y el usuario no tiene acceso a los mismos, es decir, no los puede modificar. Esta propiedad la poseen todos los TextBox los cuales muestran resultados, que son calculados en base a los datos ingresados por el usuario.

Siguiendo el mismo criterio de mejorar la calidad del software, todos los TextBox solo admiten que se ingresen datos de tipos numéricos, impidiendo el ingreso de datos de tipo string (letras y/o números).

- La segunda opción para completar este formulario es considerar que la potencia de la *Red de Alimentación* sea infinita, es decir, tanto su resistencia como reactancia sean casi nulas y su valor sea despreciable frente a las impedancias de los transformadores, motores, cables, etc.

Para ello, el usuario tendrá que presionar sobre el botón el cual indica que la potencia de la red es infinita, según lo muestra la figura N° 21.



RED DE ALIMENTACION

POTENCIA DE C. C. SUBTRANSITORIA SK''  MVA

RELACION R/X

TENSION PRIMARIA  KV

TENSION SECUNDARIA  KV

IMPEDANCIA ZRMT  Ω

IMPEDANCIA ZRBT  Ω

RESISTENCIA RRBT  Ω

REACTANCIA INDUCTIVA XRBT  Ω

Fig. N° 21. Formulario de la Red de Alimentación: potencia de la red infinita.

En el formulario se puede apreciar que tanto los valores de las impedancias, como de las resistencias y reactancias son nulos y el TextBox correspondiente a la potencia de la Red de alimentación aparece que la misma es **Infinita**.

Una vez que ya se cargaron los datos correspondientes a la Red de Alimentación, se debe presionar el botón **Asignar** para que todos los valores introducidos sean guardados en el archivo Excel, creado por el usuario, y a la vez por el mismo software para ser utilizados en el cálculo de las corrientes de cortocircuitos y automáticamente aparecerá sobre la pantalla de AutoCAD el formulario correspondiente al transformador.

## • Datos del Transformador

El siguiente formulario que aparece en el Software para ser completado, es el correspondiente a los Transformadores. En el mismo aparece una serie de TextBox, los cuales deben ser completados por el usuario (figura N° 22).



TRANSFORMADOR

CANTIDAD DE TRANSFORMADORES

SELECCIÓN DE COORDENADAS

TRANSFORMADOR N°.

TENSIÓN PRIMARIA  KV TENSIÓN SECUNDARIA  KV

SN  KVA UR  % UCC  %

IMPEDANCIA DEL TRAF.  Ω RESISTENCIA DEL TRAF.  Ω REACTANCIA DEL TRAF.  Ω

Fig. N° 22. Formulario del Transformador.

El primer TextBox a completar es la cantidad de transformadores, siendo el valor máximo de dos transformadores. Si el usuario colocase una cantidad de transformadores superior a dos, aparecerá un formulario indicando que “La cantidad máxima de transformadores es de 2” y no se podrá seguir utilizando el software hasta que se no se cambie dicha valor. Esta aclaración se puede apreciar en la figura N° 23.



Fig. N° 23. Cartel de advertencia.

Suponiendo que la cantidad de transformadores que posee el diagrama unifilar sea dos, el siguiente paso será seleccionar las coordenadas de la posición del transformador mediante el botón **Selección de Coordenadas**.



Para ello, se ocultara el formulario del Transformador y se podrá seleccionar la posición del transformador sobre el grafico, debido a que el software utiliza como fondo de pantalla el AutoCAD.

Para la selección del transformador se deben seleccionar dos coordenadas: la primera de ellas se encuentra sobre la izquierda del transformador y su correcta señalización se puede visualizar en la figura N° 24 mediante la señalización **Insert** , siendo éste el mismo punto que se utilizo para insertar el bloque del icono que representa al transformador.

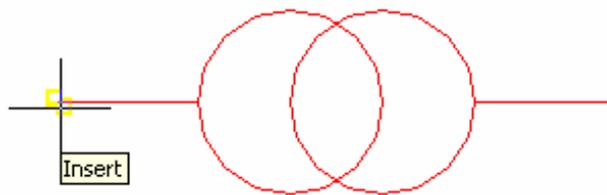


Fig. N° 24. Selección de la 1<sup>ra</sup> coordenada del Transformador.

La segunda coordenada que se debe seleccionar se encuentra sobre la derecha del símbolo que representa al transformador y se puede apreciar en la figura N° 25.

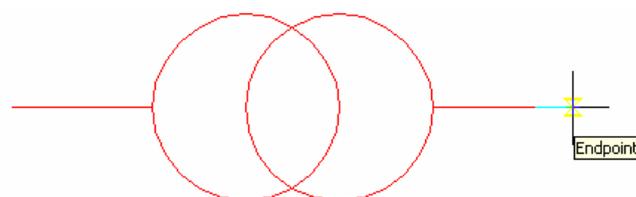


Fig. N° 25. Selección de la 2<sup>da</sup> coordenada del Transformador.

En este caso, solo será necesario encontrar el punto **EndPoint (punto final)** para que la 2<sup>da</sup> coordenada sea perfectamente seleccionada.

Una vez seleccionadas las coordenadas del transformador sobre la pantalla del AutoCAD, el usuario podrá empezar a completar los datos referentes al transformador, los cuales se pueden apreciar en la figura N° 26.



Fig. N° 26. Formulario del Transformador con datos ingresados por el usuario.

Cuando ya se han ingresados todos los datos necesarios para que el software pueda realizar los cálculos, el usuario debe presionar el botón **Asignar** y automáticamente aparecerán sobre dicho formulario, los valores correspondientes a la impedancia, resistencia y reactancia.

Las ecuaciones que se utilizaron para hacer los cálculos, mencionados anteriormente, son:

$$Z_T = U_{CC} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad R_T = U_R \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Siendo

- $Z_T$  Impedancia del transformador [ $\Omega$ ].
- $R_T$  Resistencia del transformador [ $\Omega$ ].
- $X_T$  Reactancia del transformador [ $\Omega$ ].
- $U_{CC}$  Tensión de cortocircuito de transformadores [%].
- $U_R$  Valores de caída de tensión óhmica de transformadores [%].
- $U_N$  Tensión del lado de baja del transformador [KV].



$S_N$  Potencia aparente del transformador [KVA].

TRANSFORMADOR		
CANTIDAD DE TRANSFORMADORES: 2		
SELECCIÓN DE COORDENADAS		
TRANSFORMADOR N°: 1		
TENSIÓN PRIMARIA	TENSIÓN SECUNDARIA	
13.2 KV	0.4 KV	CALCULAR
$S_N$	$U_R$	$U_{cc}$
250 KVA	1.5 %	5 %
IMPEDANCIA DEL TRAFÓ.	RESISTENCIA DEL TRAFÓ.	REACTANCIA DEL TRAFÓ.
0.032 $\Omega$	0.0096 $\Omega$	0.0305 $\Omega$
ATRÁS	ASIGNAR	SALIR

Fig. N° 27. Formulario del Transformador con valores calculados

Una vez obtenidos los resultados, los mismos son guardados por el mismo software para hacer los cálculos internos necesarios para calcular las corrientes de cortocircuito y, a su vez, también son guardados sobre un archivo Excel, el cual fue abierto por el usuario al principio del programa. Sobre dicho archivo, se crea una hoja con el nombre de **Transformador**, en la cual se encuentran todos los datos ingresados y los calculados por el software. En la figura N° 28 se puede apreciar los nombres de las hojas, correspondientes a cada uno de los datos que se van a ir cargando en el transcurso del programa.

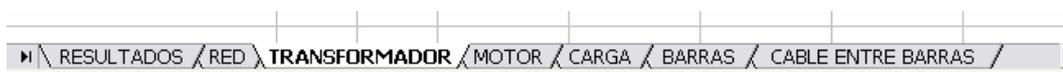


Fig. N° 28. Archivo Excel con detalle de todos los valores ingresados y calculados.



Presionando el botón **Asignar**, se oculta el formulario del Transformador y sobre la pantalla de AutoCAD se escribe el número del transformador y la potencia del mismo, indicando su unidad, como muestra la figura N° 29.

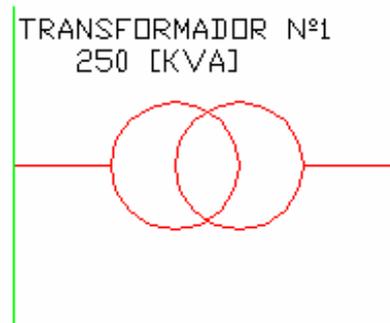


Fig. N° 29. Datos del transformador sobre la pantalla de AutoCAD.

Una vez que se oculta el formulario del Transformador, automáticamente, aparece para completar el formulario correspondiente al cable del transformador del lado de baja tensión. El formulario se puede apreciar en la figura N° 30.

CORRIENTE NOMINAL B.T. TRANSFORMADOR		LONGITUD DEL CABLE
<input type="text" value="360.84"/>	A	<input type="text"/> M
SELECCIÓN DE COORDENADAS		
CABLE N°.	<input type="text" value="1"/>	LIBRERIA
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> MM2
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MAXIMA
<input type="text"/> Ω	<input type="text"/> Ω	<input type="text"/> A
ATRAS	ASIGNAR	SALIR

Fig. N° 30. Formulario del Cable del Transformador



## Facultad de Ingeniería Proyecto Final

Sobre el formulario aparece, resaltado en un TextBox, la corriente absorbida por el transformador que será tomada en cuenta para poder elegir la sección del cable.

Para la selección del cable del transformador hay dos opciones, las cuales se explican a continuación.

- La primera de ellas es considerando la longitud del cable. Para ello, el usuario tendrá que colocar la longitud del cable en el TextBox **Longitud del Cable** y luego oprimir el botón **Selección de Coordenadas** para poder identificar la posición del cable sobre el diagrama unifilar, el cual se encuentra sobre la pantalla de AutoCAD.

El método para la selección de las coordenadas del cable, es el mismo que para la selección del Transformador explicado anteriormente. En la figura N° 31 se puede apreciar como se debe seleccionar el cable.

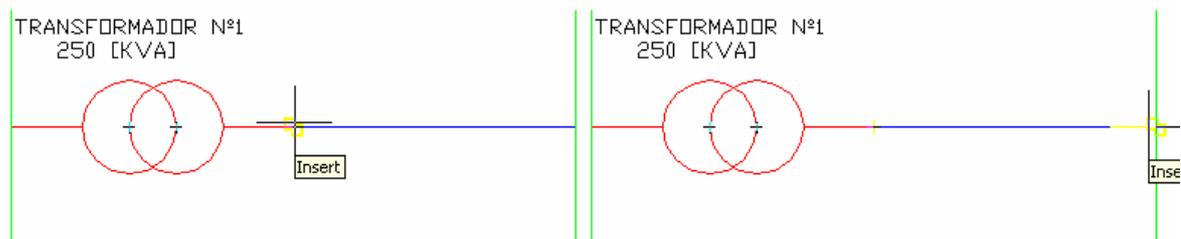


Fig. N° 31. Selección de coordenadas del cable del transformador

Hay que destacar que si, para la selección de las coordenadas del transformador y las de su respectivo cable, el punto N° 2 de la coordenada del transformador no coincide con el punto N° 1 de la coordenada del respectivo cable, aparecerá sobre la pantalla, un aviso diciendo que el cable está mal seleccionado y no se podrá seguir hasta que el mismo esté bien seleccionado. En la figura N° 32 se visualiza la correcta selección de la 2<sup>da</sup> coordenada del transformador y la 1<sup>ra</sup> coordenada del cable, siendo ambos la misma



coordenada y en la figura N° 33 se aprecia que ocurre si el cable esta mal seleccionado.

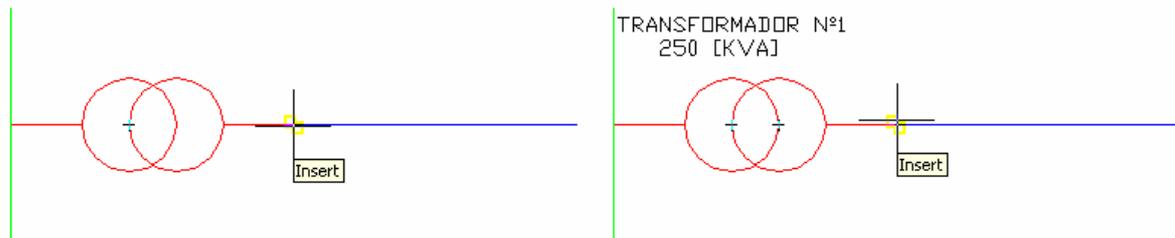


Fig. N° 32. Selección de coordenadas



Fig. N° 33. Cartel aclaratorio en caso de seleccionar mal el cable

Una vez que el usuario ya seleccionó adecuadamente las coordenadas del cable del motor, ahora deberá especificar: el tipo de cable, material, sección, resistencia, reactancia y cual es la corriente máxima admisible por el cable.

Existen dos formas de completar todos los datos los datos referentes a la selección del cable: la primera es manual, ingresando cada uno de los datos en los TextBox correspondientes, y la segunda es mediante una librería que ya tiene incorporado el software. Para tener acceso a ella, se deberá presionar el botón **Librería** y aparecerá el siguiente formulario:



Fig. N° 34. Librería de Cables

Como se puede apreciar en la figura N° 34, el software cuenta con una selección de tres tipos de cables diferente: Unipolar, Tripolar o Tetrapolar (Tripolar c/Neutro). Si, por ejemplo, seleccionamos un tipo de cable **Unipolar**, aparecerá el formulario que se muestra en la figura N° 35.



Fig. N° 35. Selección de un Cable Unipolar.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Una vez que el usuario ha decidido que tipo de cable asignará, ahora deberá seleccionar el material del cable: **Cobre** o **Aluminio**, los cuales se seleccionan de acuerdo a la corriente que circulara por el mismo.

Si, por ejemplo, queremos seleccionar un cable por el cual circula una corriente de 360 [A], (siguiendo con el ejemplo de la figura N° 30), en la figura N° 36 se puede observar las dos posibles opciones.

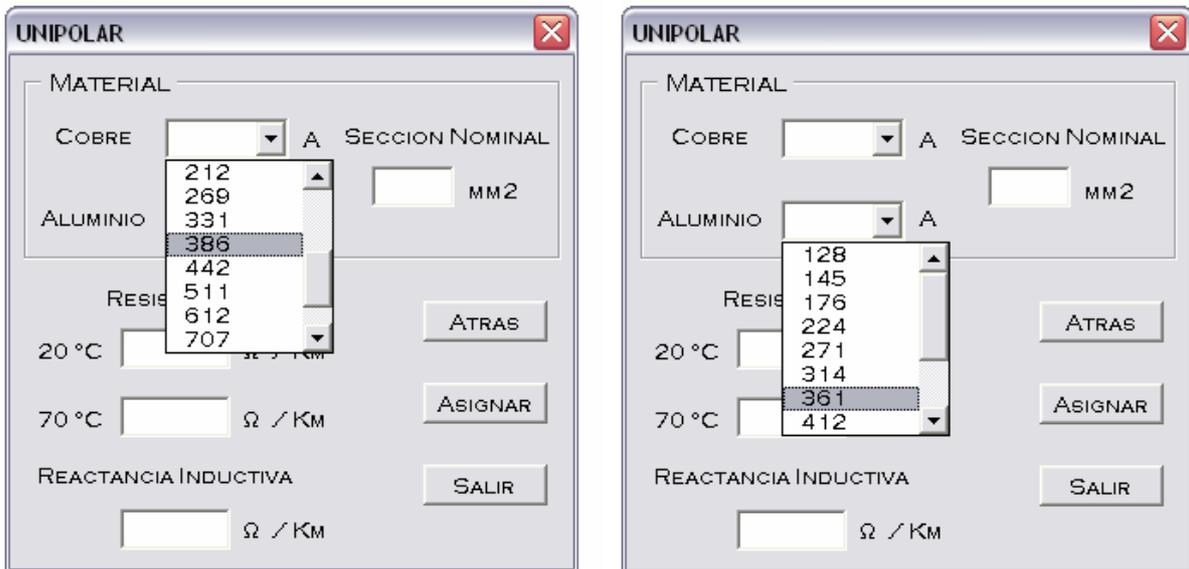


Fig. N° 36. Selección del Material de un Cable Unipolar.

Una vez seleccionado el material del cable, ya sea cobre a aluminio, aparecen sobre los TextBox todos los datos acerca de los mismos.



Fig. N° 37. Selección del Material de un Cable Unipolar.



En la figura N° 37, se puede apreciar que una vez seleccionado el material del cable, aparecen sobre los demás TextBox, todos los datos referentes al cable: sección, resistencia y reactancia. Seleccionado **Asignar**, se guardan todos los valores mencionados anteriormente y se vuelve al formulario del Cable del Transformador.

CORRIENTE NOMINAL B.T. TRANSFORMADOR		LONGITUD DEL CABLE
360.84	A	20 M
SELECCIÓN DE COORDENADAS		
CABLE N°.	1	LIBRERIA
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN
UNIPOLAR	COBRE	120 MM <sup>2</sup>
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MAXIMA
0.00306 Ω	0.00182 Ω	386 A
ATRÁS	ASIGNAR	SALIR

Fig. N° 38. Selección del Material de un Cable Unipolar.

En la figura N° 38 se encuentran todas las características del cable seleccionado.

Oprimiendo el botón **Asignar**, el programa guarda internamente todos los valores, como así también se guardan en el archivo Excel, anteriormente seleccionado, para poder realizar los cálculos pertinentes.

Al mismo tiempo, aparecerá sobre la pantalla del AutoCAD, asociado al cable seleccionado, el tipo de cable, la sección nominal y la longitud indicando en ambos casos sus unidades.

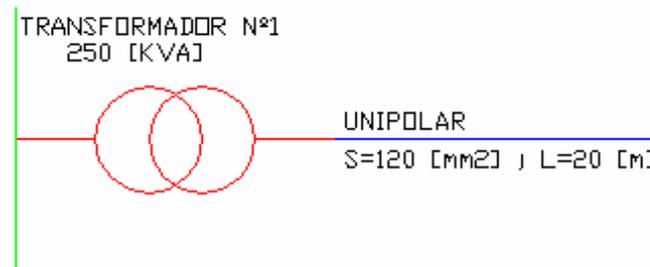


Fig. N° 39. Datos del cable del transformador sobre la pantalla de AutoCAD.

- La segunda de ellas es considerando la longitud del cable nula. Para ello, el usuario tendrá que colocar en el TextBox **Longitud del Cable** el valor 0 y presionar el botón asignar e inmediatamente se pasará al siguiente formulario.

Si la cantidad de transformadores seleccionados fuese uno, el próximo formulario que aparece será el del motor.

Siguiendo con el ejemplo, en el cual se ha seleccionado 2 transformadores, el próximo formulario que aparece será el del transformador y se tendrá que repetir todos los pasos mencionados anteriormente, al igual que con el formulario del cable del transformador.

## • Datos de los Motores

Finalizada la introducción de todos los datos correspondientes al transformador y la del cable asociado al mismo, el próximo paso a seguir es ingresar los datos correspondientes a los motores.

La apariencia física del formulario del Motor, se puede apreciar en la figura N° 40.



Fig. N° 40. Formulario del Motor.

Lo primero que se debe completar es la cantidad total de Motores que se encuentran en el Diagrama Unifilar, para luego empezar a ingresar los datos referentes a cada uno de los mismos. En lo que respecta a la cantidad máxima de motores que se pueden colocar, la misma es de 100.

Ingresados la cantidad de Motores, se debe seleccionar la coordenada de éste sobre el diagrama unifilar, el cual se encuentra sobre AutoCAD. Para ello, se oculta el formulario para que la coordenada del motor pueda ser seleccionada.

La forma correcta de seleccionar la coordenada del Motor se puede observar en la figura N° 41.

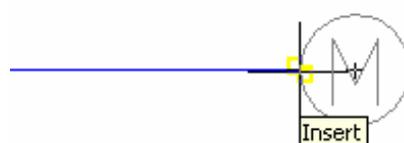


Fig. N° 41. Selección de coordenadas del Motor.



Tal cual lo indica la figura N° 41, se debe seleccionar la parte izquierda del icono que simboliza al motor, la cual esta señalada en el grafico mediante la señalización **Insert**. Es por ello, que es necesario tener activado en el OSNAP dicha función.

Para introducir los parámetros correspondientes a los motores, hay dos opciones:

- La primera de ellas es introduciendo los valores de potencia, rendimiento, coseno  $\varphi$  y la relación entre la corriente de arranque y la corriente nominal del motor ( $I_{AR}/I_N$ ). Luego, oprimiendo el botón **Calcular** aparecerá sobre el mismo formulario la corriente de funcionamiento del motor. La ecuación que se utilizara para el calculo de la misma son:

$$I = \frac{Pot[CV] \cdot 735.5}{\frac{\eta}{100} \cdot \text{Cos}\varphi \cdot 380[V] \cdot \sqrt{3}}$$

La relación  $I_{AR}/I_N$  se utiliza para calcular la impedancia del motor, y de esta manera obtener la corriente de cortocircuito aportada por los motores.

Hay que destacar que en el TextBox de **Coseno  $\varphi$**  o en el del **Rendimiento**, si al ingresar los datos los mismos no son coherentes con las unidades, aparecerá un cartel aclaratorio informando al usuario que ingreso mal dicho valor. Por ejemplo: si en el TextBox de **Rendimiento** (el cual se debe ingresar un valor %) se ingresa el valor 0.9, aparecerá el cartel que se visualiza en la figura N° 42.

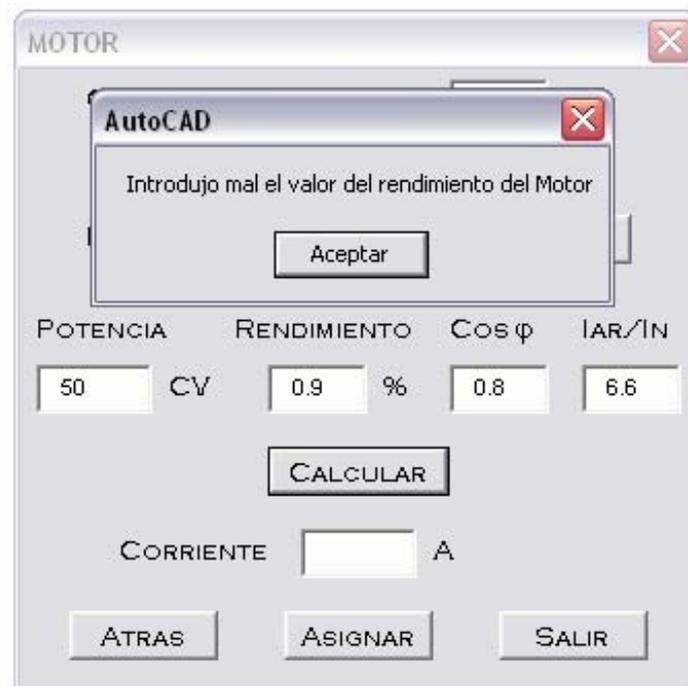


Fig. N° 42. Cartel aclaratorio.

Esto es una forma de mejorar el rendimiento del programa y que el mismo calcule valores *reales*. Lo mismo ocurre si en el TextBox de Coseno  $\phi$  se ingresa un valor mayor que 1 o el valor 0.

- La otra forma de ingresar los datos del motor es mediante una librería que ya tiene incorporada el software. Dicha librería de motores fue sacada de un catálogo de motores *SIEMENS*. Para tener acceso a la librería se debe presionar el botón **Librería** aparecerá el siguiente formulario:



Fig. N° 43. Formulario de Librería de Motores

Tal cual se observa en la figura N° 43, la librería de los motores esta formada tres tipos de motores: **Motores de 2 Polos**, **Motores de 4 Polos** y **Motores de 6 Polos**.

Supongamos que la instalación de la industria, a la cual se le quiere realizar el cálculo de corrientes de cortocircuitos, esta formada por un motor de 4 polos. Seleccionando dicho ítem, se abrirá el siguiente formulario:



MOTOR 4 POLOS - 1500 rpm

SELECCION DEL MOTOR  CV

VALORES

POTENCIA	CORRIENTE
<input type="text"/> KW	<input type="text"/> A
RENDIMIENTO	Cos $\phi$
<input type="text"/> %	<input type="text"/>
PAR MOTOR	IAR/IN
<input type="text"/> NM	<input type="text"/>

ATRAS ASIGNAR SALIR

Fig. N° 44. Formulario correspondiente a un Motor de 4 Polos.

La forma de seleccionar el motor es muy sencilla. El formulario cuenta con un ComboBox, el cual es un menú desplegable en donde el usuario podrá seleccionar la potencia del motor.

MOTOR 4 POLOS - 1500 rpm

SELECCION DEL MOTOR  CV

VALORES

POTENCIA	CORRIENTE
<input type="text"/> KW	<input type="text"/> A
RENDIMIENTO	Cos $\phi$
<input type="text"/> %	<input type="text"/>
PAR MOTOR	IAR/IN
<input type="text"/> NM	<input type="text"/>

ATRAS ASIGNAR SALIR



Fig. N° 45. Menú desplegable de la potencia de un Motor de 4 Polos.

El menú cuenta con una amplia gama de valores de potencia que va desde los 0.33 CV hasta los 180 CV, para el caso de un motor de 4 polos.

Una vez seleccionada la potencia del motor, 50 CV en este caso, aparecerá sobre el formulario una serie de datos correspondiente al motor seleccionado.

SELECCION DEL MOTOR	
50	CV

VALORES	
POTENCIA	CORRIENTE
37 KW	72 A
RENDIMIENTO	Cos φ
91 %	0.85
PAR MOTOR	IAR/IN
239 NM	6.4

ATRAS      ASIGNAR      SALIR

Fig. N° 46. Datos acerca del motor seleccionado

Nuevamente, los valores entregados por el programa no pueden ser alterados por el usuario debido a que son características inalterables de los motores.

Presionando el botón **Asignar**, se vuelve al formulario del motor y las características del motor son guardadas, internamente, por el programa y a la vez aparecen en el formulario del motor, tal cual lo indica la figura N° 47.



MOTOR

CANTIDAD DE MOTORES 4

SELECCIÓN DE COORDENADAS

MOTOR N°. 1 LIBRERIA

POTENCIA RENDIMIENTO Cos φ IAR/IN

50 CV 91 % 0.85 6.4

CALCULAR

CORRIENTE 72 A

ATRAS ASIGNAR SALIR

Fig. N° 47. Datos acerca del motor seleccionado.

Una vez que ya se ha seleccionado, por alguna de las dos formas posibles, el motor y la corriente que circulará por el mismo, presionando sobre el botón **Asignar**, se pasará al siguiente formulario el cual es la *selección del cable* al cual esta asociado el motor y también aparecerá sobre la pantalla de AutoCAD, por encima del icono del motor, el número del motor y su potencia.

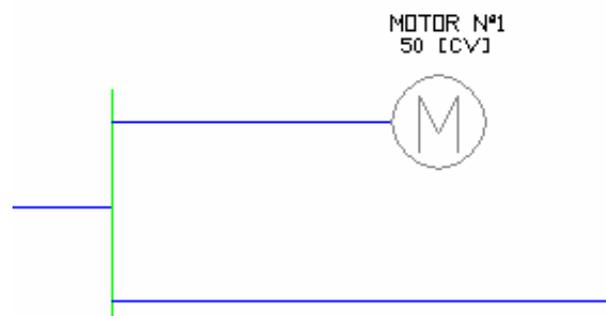


Fig. N° 48. Datos del Motor sobre la pantalla de AutoCAD

La figura N° 49 muestra el formulario de *Selección del Cable del Motor*, en el cual se puede apreciar varios aspectos.



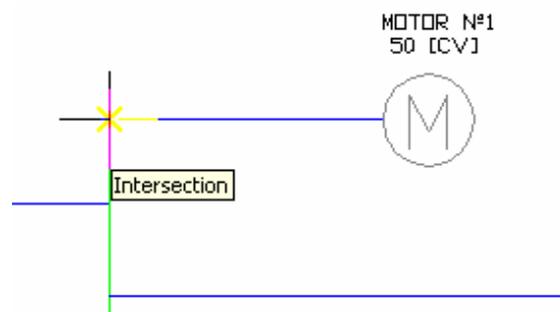
CORRIENTE ABSORBIDA POR EL MOTOR	LONGITUD DEL CABLE	
<input type="text" value="72"/> A	<input type="text"/> M	
<input type="button" value="SELECCIÓN DE COORDENADAS"/>		
CABLE N°	<input type="text" value="3"/>	<input type="button" value="LIBRERIA"/>
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> MM2
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MAXIMA
<input type="text"/> Ω	<input type="text"/> Ω	<input type="text"/> A
<input type="button" value="ATRÁS"/>	<input type="button" value="ASIGNAR"/>	<input type="button" value="SALIR"/>

Fig. N° 49. Formulario de Selección del Cable del Motor

Lo primero que se puede apreciar de la figura N° 49 es que aparece en un TextBox la corriente de funcionamiento del motor que es para que el usuario la tenga presente a la hora de seleccionar la sección del cable. También aparece en otro TextBox el número del cable que se está asignando. En este caso, aparece el número 3 debido a que el cable N° 1 y N° 2 corresponden a los que están asociados a los transformadores. En caso de no considerar el cable de los transformadores, el cable del motor será el N° 1.

El primer TextBox a completar es **Longitud del Cable**, la cual aparece en metros y a continuación habrá que seleccionar la posición del cable del motor, la cual se hace según lo muestra la figura N° 50.

Fig. N° 50. Selección del Cable del Motor.





**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

La primera coordenada a señalar se encuentra a la izquierda del cable y en la figura N° 51 aparece señalado con la función **Intersection** (intersección), debido a que siempre el cable va a estar en contacto con una barra (señalada con verde).

La segunda coordenada a señalar se encuentra a la derecha del cable y en la figura N° 52 aparece señalado con la función **Insert**.

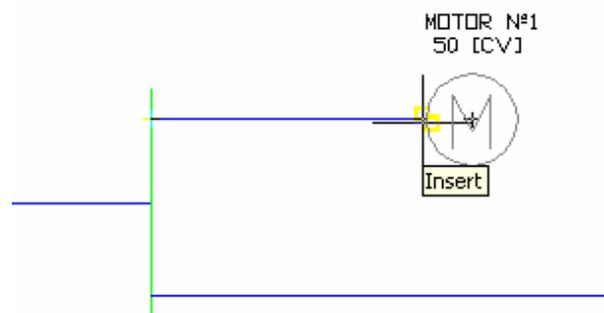


Fig. N° 51. Selección del Cable del Motor

En caso de seleccionar mal el cable, aparecerá un cartel aclaratorio indicando que el cable esta mal seleccionado y no se podrá seguir utilizando el programa hasta que el mismo este bien identificado.



Fig. N° 52. Cartel aclaratorio.

La selección de todos los parámetros relacionados con el cable, tales como: *Tipo de Cable*, *Material*, *Sección*, *Resistencia*, *Reactancia* y *Corriente Máxima de circulación por el cable* se puede hacer de las dos formas posibles, según lo indicado en la en la Sección **Datos del Transformador**. Estas dos posibles formas son: ingresando el usuario los valores en los TextBox



correspondiente o bien mediante la librería de cables que posee el programa y el formulario completo se puede apreciar en la figura N° 53.

CORRIENTE ABSORBIDA POR EL MOTOR	LONGITUD DEL CABLE	
72 A	15 M	
SELECCIÓN DE COORDENADAS		
CABLE N°: 3	LIBRERIA	
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN
TRIPOLAR	COBRE	16 MM <sup>2</sup>
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MÁXIMA
0.01725 Ω	0.00123 Ω	80 A
ATRAS	ASIGNAR	SALIR

Fig. N° 53. Formulario de Selección del Cable

Presionando el botón **Asignar** aparecerá sobre la pantalla del AutoCAD, asociado al cable seleccionado, el tipo de cable, la sección nominal y la longitud, indicando en ambos casos sus unidades. El próximo formulario que aparecerá será nuevamente el del motor, como lo muestra la figura N° 54, salvo que la cantidad de motores sea solamente uno y en ese caso aparece el formulario correspondiente a las cargas.

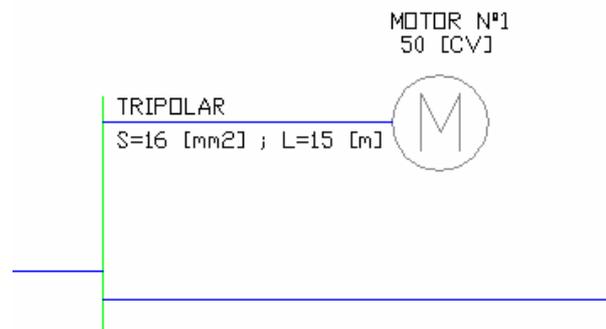


Fig. N° 54. Datos del Cable del Motor sobre la pantalla de AutoCAD



Si el cable seleccionado posee una corriente máxima de circulación menor a la corriente que realmente esta consumiendo el motor, aparecerá un cartel aclaratorio indicando: *La Corriente de funcionamiento del motor es mayor que la corriente que puede soportar el cable*, tal cual lo indica la figura N° 55.

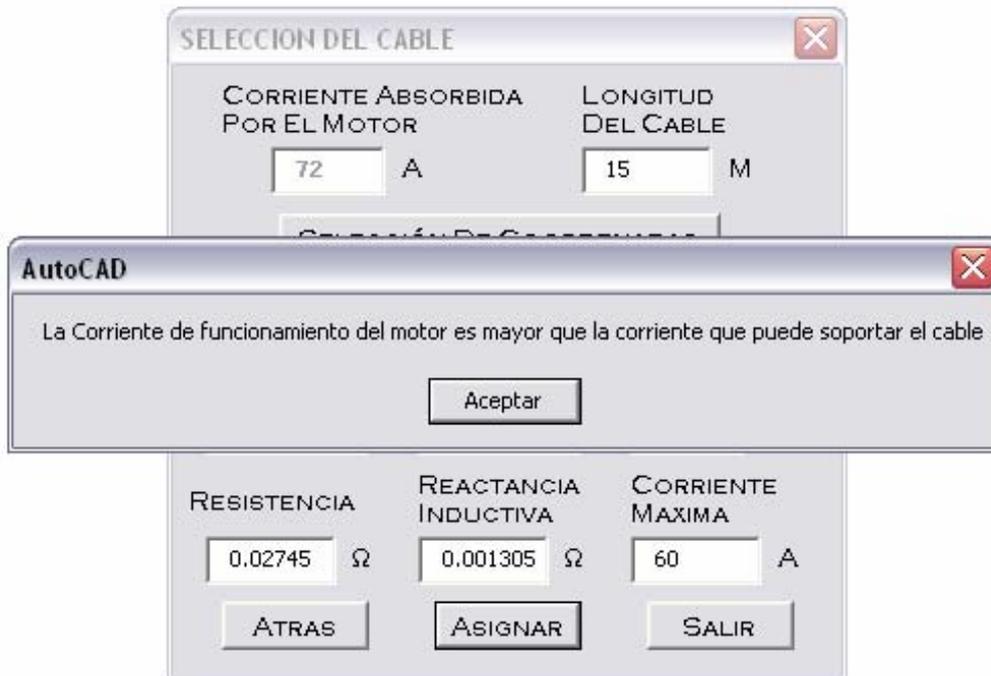


Fig. N° 55. Cartel aclaratorio.

Cabe señalar que este cartel es solo informativo, es decir no influye de ninguna manera en la elección del cable, debido a que este software no verifica al cable contra cortocircuitos ni caída de tensión.

## • Datos de las Cargas

Finalizada la introducción de todos los datos correspondientes a los Motores y los conductores asociados a los mismos, el próximo paso a seguir es ingresar los datos correspondientes a las Cargas.

La forma de completar el formulario de Cargas es muy similar al formulario del Motor.



La apariencia del formulario de Cargas, se puede apreciar en la figura N° 56.

Fig. N° 56. Formulario de Cargas.

Lo primero que se debe completar es la cantidad total de Cargas que se encuentran en el Diagrama Unifilar, para luego empezar a ingresar los datos referentes a cada uno de los mismos. En lo que respecta a la cantidad máxima de cargas que se pueden colocar, la misma es de 100.

Ingresados la cantidad de Cargas, se debe seleccionar la coordenada de éste sobre el diagrama unifilar, el cual se encuentra sobre AutoCAD. Para ello, habrá que oprimir el botón **Selección de Coordenadas** y se ocultará el formulario de Cargas para que la coordenada pueda ser seleccionada.

La forma correcta de seleccionar la coordenada de la Carga se puede observar en la figura N° 57.



Fig. N° 57. Selección de coordenadas de la Carga

Tal cual lo indica la figura N° 57, se debe seleccionar la parte izquierda del icono que simboliza a la Carga, la cual esta señalada en el grafico mediante la señalización **Insert**.

Este formulario, al igual que el formulario del motor, cuenta con un TextBox el cual indica cual es el número de la carga a la cual se le están asignando sus respectivos datos.

Los valores a introducir por el usuario son: la *Potencia* de la carga en [KVA] y su *Coseno*  $\phi$  y oprimiendo el botón **Calcular** aparecerá sobre el mismo formulario la *Corriente* de funcionamiento de la Carga y la *Potencia* expresada en [KW].

En el caso de que la carga sea resistiva pura, es decir *Coseno*  $\phi = 1$ , el valor de la *Potencia* se podrá introducir en [KW] y también habrá que introducir *Coseno*  $\phi = 1$ .

La ecuación que se utilizara para el cálculo de la corriente y de la potencia en [KW] es:

$$Potencia[KW] = Potencia[KVA] \cdot \text{Cos}\phi \quad I[A] = \frac{Potencia[KVA]}{0.38[KV] \cdot \sqrt{3}}$$

Hay que señalar, nuevamente, que si el usuario introduce un valor de *Cos*  $\phi$  mayor que 1, aparecerá un cartel aclaratorio y no se podrá continuar utilizando el programa hasta que se modifique dicho valor. El cartel aclaratorio se puede observar en la figura N° 58.



CARGA

AutoCAD

Introdujo Mal el valor del Coseno de la CARGA

Aceptar

POTENCIA COS  $\phi$

75 KVA 8 CALCULAR

VALORES

CORRIENTE A

POTENCIA KW

ATRAS ASIGNAR SALIR

Fig. N° 58. Cartel aclaratorio.

En la figura N° 59 se muestra como queda completo el formulario de carga, con los datos introducidos y los calculados por el software.

Los datos calculados aparecen en *negrita* y no pueden ser modificados por el usuario.

CARGA

CANTIDAD DE CARGAS 2

SELECCIÓN DE COORDENADAS

CARGA N° 1

POTENCIA COS  $\phi$

75 KVA 0.85 CALCULAR

VALORES

CORRIENTE 113.95 A

POTENCIA 63.74 KW

ATRAS ASIGNAR SALIR

Fig. N° 59. Formulario de Carga completo



Una vez que ya se ha seleccionado la carga y la corriente que circulara por la misma, presionando sobre el botón **Asignar**, se pasara al siguiente formulario el cual es la *Selección del Cable* al cual esta asociado la carga y también aparecerá sobre la pantalla del AutoCAD, por encima del icono de la carga, el número de carga y su potencia, tal cual se observa en la figura N° 60



Fig. N° 60. Datos de la Carga sobre la pantalla de AutoCAD.

La figura N° 61 muestra el formulario de *Selección del Cable de la Carga*, en el cual se puede apreciar varios aspectos.

CORRIENTE ABSORBIDA POR LA CARGA		LONGITUD DEL CABLE
<input type="text" value="113.95"/>	A	<input type="text"/> M
<input type="button" value="SELECCIÓN DE COORDENADAS"/>		
CABLE N°	<input type="text" value="4"/>	<input type="button" value="LIBRERIA"/>
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> MM2
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MAXIMA
<input type="text"/> Ω	<input type="text"/> Ω	<input type="text"/> A
<input type="button" value="ATRÁS"/>	<input type="button" value="ASIGNAR"/>	<input type="button" value="SALIR"/>

Fig. N° 61. Formulario de Selección del Cable de la Carga.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Lo primero que se puede apreciar de la figura N° 61 es que aparece en un TextBox la corriente de funcionamiento de la Carga que es para que el usuario la tenga presente a la hora de seleccionar la sección del cable. También aparece en otro TextBox el número de cable que se está asignando. En este caso, aparece el número 4.

El primer TextBox a completar es **Longitud del Cable**, la cual aparece en metros y a continuación habrá que seleccionar la posición del cable de la Carga, la cual se hace según lo muestra la figura N° 62.

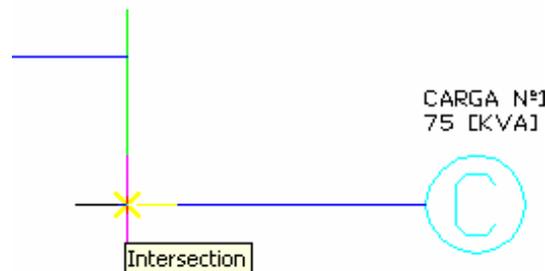


Fig. N° 62. Selección de coordenadas del cable de la Carga.

La primera coordenada a señalar se encuentra a la izquierda del cable y en la figura N° 62 aparece señalado con la función **Intersection** (intersección), debido a que siempre el cable va a estar en contacto con una barra (señalada con verde)

La segunda coordenada a señalar se encuentra a la derecha del cable y en la figura N° 63 aparece señalado con la función **Insert**.

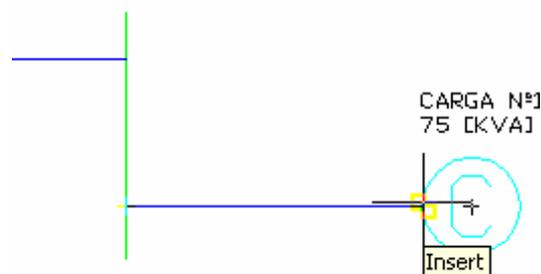


Fig. N° 63. Selección de coordenadas del cable de la Carga



En caso de seleccionar mal el cable, aparecerá un cartel aclaratorio indicando que el cable está mal seleccionado y no se podrá seguir utilizando el programa hasta que el mismo esté bien identificado.



Fig. N° 64. Cartel aclaratorio

La selección de todos los parámetros relacionados con el cable, tales como: *Tipo de Cable*, *Material*, *Sección*, *Resistencia*, *Reactancia* y *Corriente Máxima de circulación por el cable* se puede hacer, también, de las dos formas posibles, según lo indicado en la en la Sección **Datos del Transformador**.

Estas dos formas posibles son: ingresando el usuario los valores en los TextBox correspondiente o bien mediante la librería de cables que posee el programa y el formulario completo se puede apreciar en la figura N° 65.

CORRIENTE ABSORBIDA POR LA CARGA	LONGITUD DEL CABLE	
113.95 A	15 M	
SELECCIÓN DE COORDENADAS		
CABLE N°	LIBRERIA	
4		
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN
TRETRAPOLAR	COBRE	35 MM²
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MÁXIMA
0.00786 Ω	0.001245 Ω	131 A
ATRAS	ASIGNAR	SALIR

Fig. N° 65. Formulario de Selección del Cable.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Presionando el botón **Asignar** aparecerá sobre la pantalla del AutoCAD, por encima del cable seleccionado, el tipo de cable y la sección nominal del mismo, como lo muestra la figura N° 66 y el próximo formulario que aparecerá será nuevamente el de la Carga, debido a que, en este ejemplo, la cantidad total de cargas es de 2.

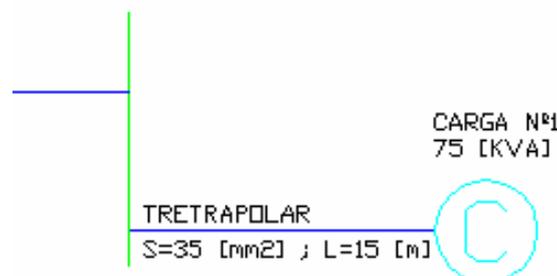


Fig. N° 66. Datos del Cable del Motor sobre la pantalla de AutoCAD.

Si el cable seleccionado posee una corriente máxima de circulación menor a la corriente que realmente esta consumiendo la carga, aparecerá un cartel aclaratorio indicando: *La Corriente de funcionamiento de la carga es mayor que la corriente que puede soportar el cable*, tal cual lo indica la figura N° 67.

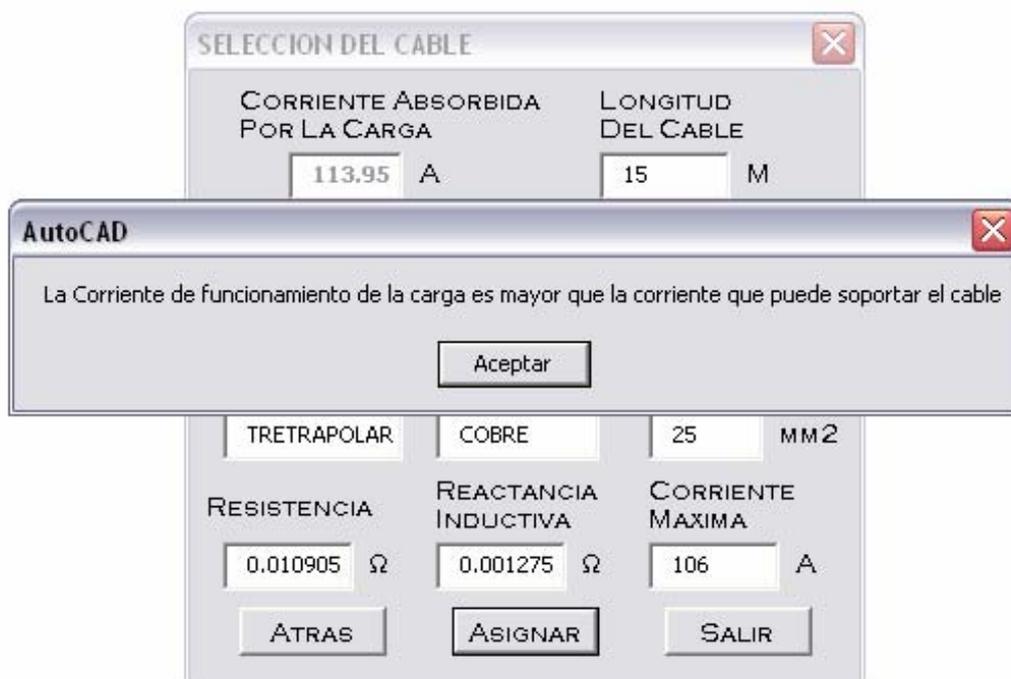


Fig. N° 67. Cartel aclaratorio.



Cabe señalar, nuevamente, que este cartel es solo informativo, es decir no influye de ninguna manera en la elección del cable, debido a que este software no verifica al cable contra cortocircuitos ni caída de tensión.

## • Datos de las Barras

Finalizada la introducción de todos los datos correspondientes a las cargas y los conductores asociados a los mismos, el próximo paso a seguir es ingresar los datos correspondientes a las barras.

La forma de completar el formulario de barras es muy sencilla tal como se indica en la figura N° 68.

The image shows a software dialog box titled "BARRAS". It contains the following elements:

- A text input field labeled "CANTIDAD DE BARRAS" with an empty box.
- A button labeled "SELECCIÓN DE COORDENADAS".
- A text input field labeled "BARRA N°" with the value "1" entered.
- Three buttons at the bottom: "ATRAS", "ASIGNAR", and "SALIR".

Fig. N° 68. Formulario de Barras.

Lo primero que se debe completar es la cantidad total de Barras que se encuentran en el Diagrama Unifilar, para luego empezar a seleccionar las coordenadas referentes a cada una de las mismas.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Cabe señalar que la impedancia de barras se desprecia por ser su valor muy bajo frente al resto de las impedancias.

Ingresados la cantidad de Barras, se debe seleccionar la coordenada de éstas sobre el diagrama unifilar. Para ello, habrá que oprimir el botón **Selección de Coordenadas** y se ocultará el formulario de Barras para que las coordenadas de la Barra puedan ser seleccionadas.

La forma correcta de seleccionar las coordenadas de la Barra se puede observar en la figura N° 69.

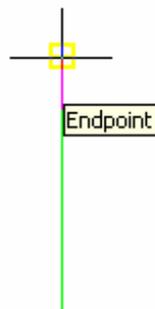


Fig. N° 69. Selección de coordenadas de la Barra.

La primera coordenada a señalar se encuentra en la parte superior de la Barra y en la figura N° 69 aparece señalado con la función **EndPoint** (Punto Final).

La segunda coordenada a señalar se encuentra en la parte inferior de la Barra y en la figura N° 70 aparece señalado, nuevamente con la función **EndPoint**.



Fig. N° 70. Selección de coordenadas de la Barra.



En caso de seleccionar mal la Barra, aparecerá un cartel aclaratorio indicando que “La Barra esta mal seleccionada” y no se podrá seguir utilizando el programa hasta que la mismo este bien identificado.



Fig. N° 71. Cartel aclaratorio.

El formulario de Barras cuenta con un contador, el cual es el encargado de contar las barras que se van seleccionando y asignando sobre el diagrama unifilar

Presionando el botón **Asignar** aparecerá sobre la pantalla del AutoCAD, en la parte superior de la Barra seleccionada, el número de Barra, como lo muestra la figura N° 72.



Fig. N° 72. Datos de la Barra sobre la pantalla de AutoCAD.

La numeración de las dos primeras barras, se deberá hacer según se muestra en la figura N° 73.



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

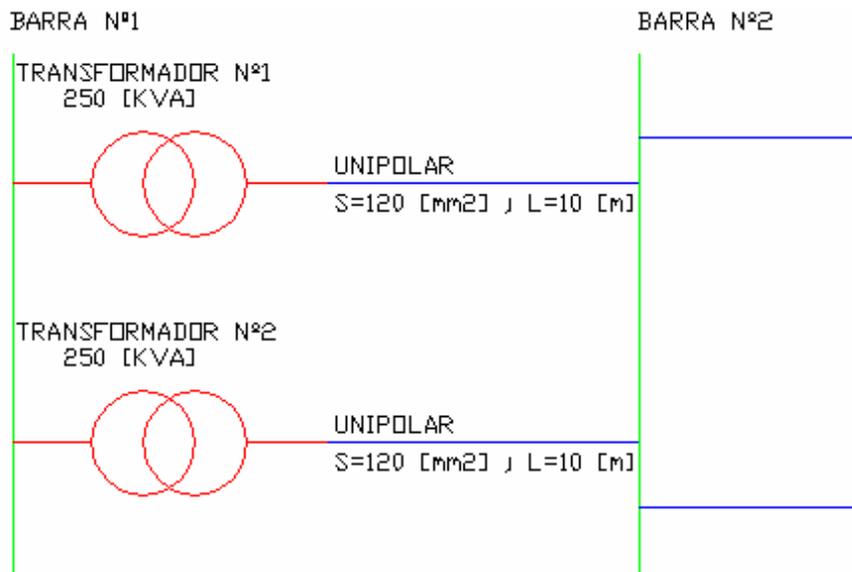


Fig. N° 73. Correcta numeración de las Barras N° 1 y N° 2.

Como se puede observar en la figura N° 65, la primera barra que se debe seleccionar es la que se encuentra a la izquierda del Transformador, *Barra N° 1*, y la segunda la que se encuentra a la derecha del Transformador, *Barra N° 2*. En este ejemplo, como se considera el cable del transformador del lado de baja tensión, la *Barra N° 2* se encuentra a la derecha de dicho cable.

En caso de no considerar el cable del transformador, la correcta numeración de las barras se muestra en la figura N° 74.

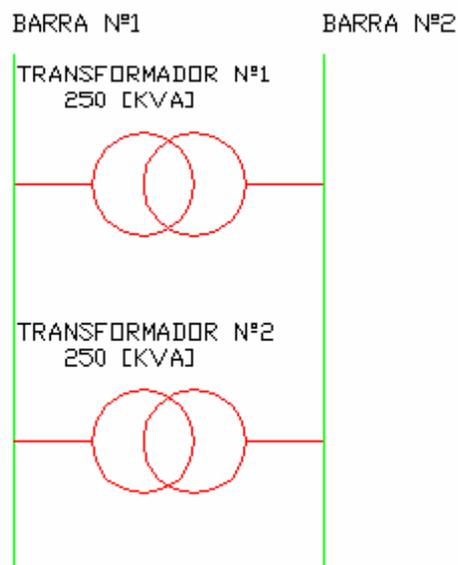


Fig. N° 74. Correcta numeración de las Barras N° 1 y N° 2.



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

Siguiendo con la misma filosofía para la numeración de las barras, las mismas deberán ser numeradas de izquierda a derecha, esto es de suma importancia para que el software pueda realizar los cálculos correctamente.

En la figura N° 75 se puede visualizar como están numeradas las barras:

- La barra N° 1 corresponde a la barra que se encuentra a la izquierda del transformador.
- La barra N° 2 corresponde a la barra que se encuentra a la derecha del transformador (fig N° 73 o fig. N° 74).
- La numeración de las demás barras las cuales están unidas por medio de un conductor, por ejemplo la *Barra N° 3, N° 4, N° 5, N° 6, N° 7*, deberá ser de izquierda a derecha, siendo la cantidad máxima de barras a colocar, las cuales están unidas por medio de un conductor, de 5. Esta cantidad máxima de 5 barras es sin contar a las 2 barras que se encuentran en los extremos del transformador.
- En cuanto a las barras que no estén unidas a otras barras por medio de conductores, no habrá ningún inconveniente en cuanto a la numeración.

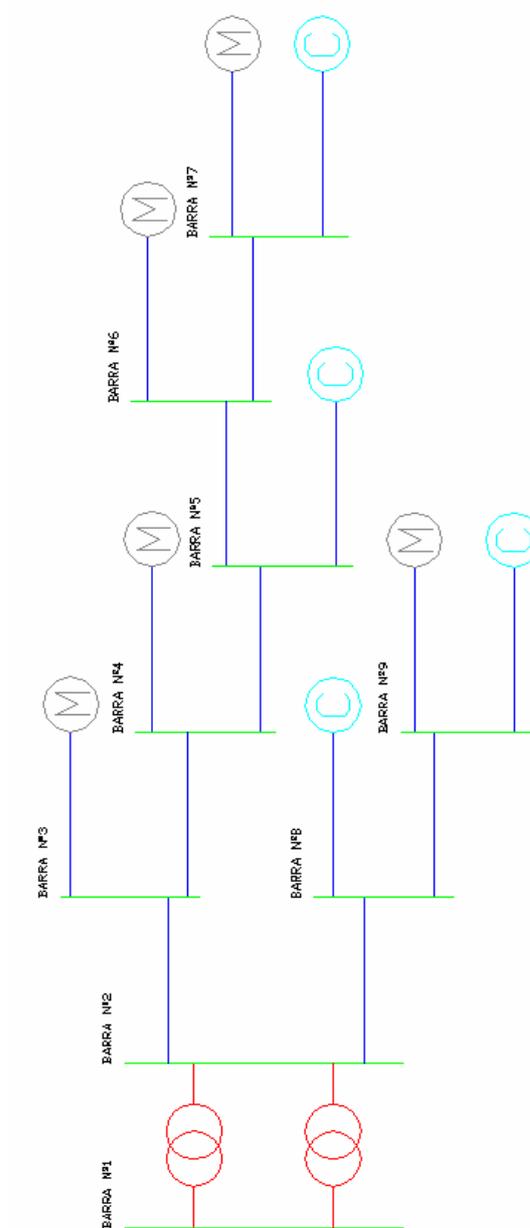


Fig. N° 75. Cantidad máxima de Barras a colocar las cuales están unidas por medio de un conductor

Esta forma de seleccionar las barras es de suma importancia para que el software pueda realizar los cálculos correctamente y si se tienen en cuenta las restricciones anteriormente mencionadas, no habrá ningún inconveniente y el usuario podrá seguir utilizando el programa.

## • Datos de Cables de Alimentación a Barras

Finalizada la selección de coordenadas de las barras y sus respectivas numeraciones, el siguiente paso a seguir es ingresar los datos correspondientes a los cables de alimentación a barras.

Se entiende por *Cables de Alimentación a Barras* al cable que se encuentra entre dos barra tal cual lo muestra la figura N° 76.

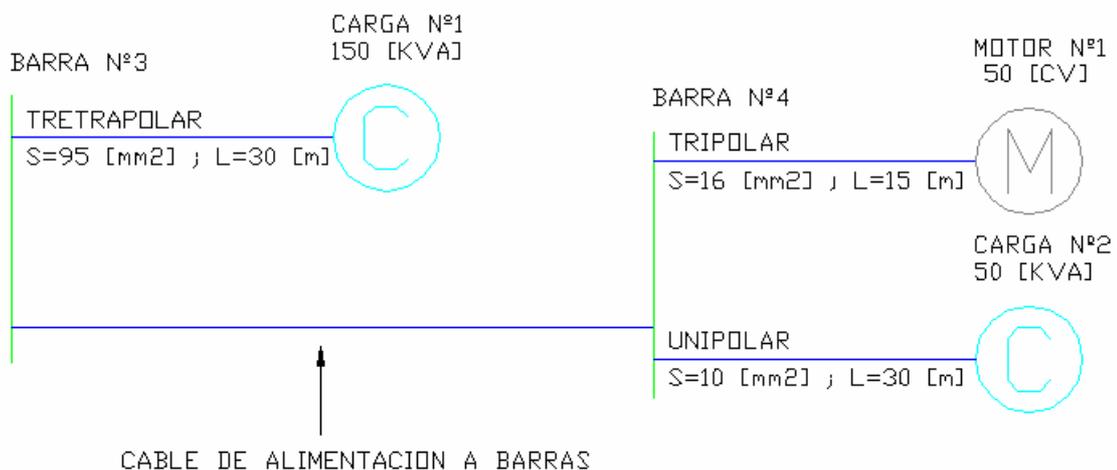


Fig. N° 76. Cable de Alimentación a Barras.

Una vez que el usuario comprendió que es un *Cables de Alimentación a Barras* y donde se encuentra dentro de un diagrama unifilar, se podrá empezar a completar el formulario correspondiente.

La forma de completar el formulario de *Cables de Alimentación a Barras* es muy sencilla y su formulario se puede apreciar en la figura N° 69

Lo primero que se debe completar es la cantidad total de Cables entre Barras y la longitud de cada uno, para luego empezar a ingresar los datos referentes al tipo de cable. En lo que respecta a la cantidad máxima de cables que se pueden colocar, la misma es de 100.



CABLES DE ALIMENTACION A BARRAS

CANTIDAD DE CABLES

CABLE N°

LONGITUD DEL CABLE  M

SELECCIÓN DE COORDENADAS

CORRIENTE ABSORBIDA POR LOS CABLES  A F.S.

CALCULO CORRIENTE REAL  A

LIBRERIA

TIPO DE CABLE MATERIAL SECCIÓN

MM2

RESISTENCIA REACTANCIA INDUCTIVA CORRIENTE MAXIMA

Ω  Ω  A

ATRAS ASIGNAR SALIR

Fig. N° 77. Formulario de Cables de Alimentación a Barras.

Una vez ingresada la cantidad de Cables entre Barras y la longitud, se debe seleccionar las coordenadas de éstos sobre el diagrama unifilar. Para ello, habrá que oprimir el botón **Selección de Coordenadas** y se ocultará el formulario de *Cables de Alimentación a Barras* para que las coordenadas de los cables puedan ser seleccionadas.

Hay que destacar, que los *Cables Alimentación a Barras* los cuales comparten una barra se deberán numerar de izquierda a derecha, tal como se puede apreciar en la figura N° 78.



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

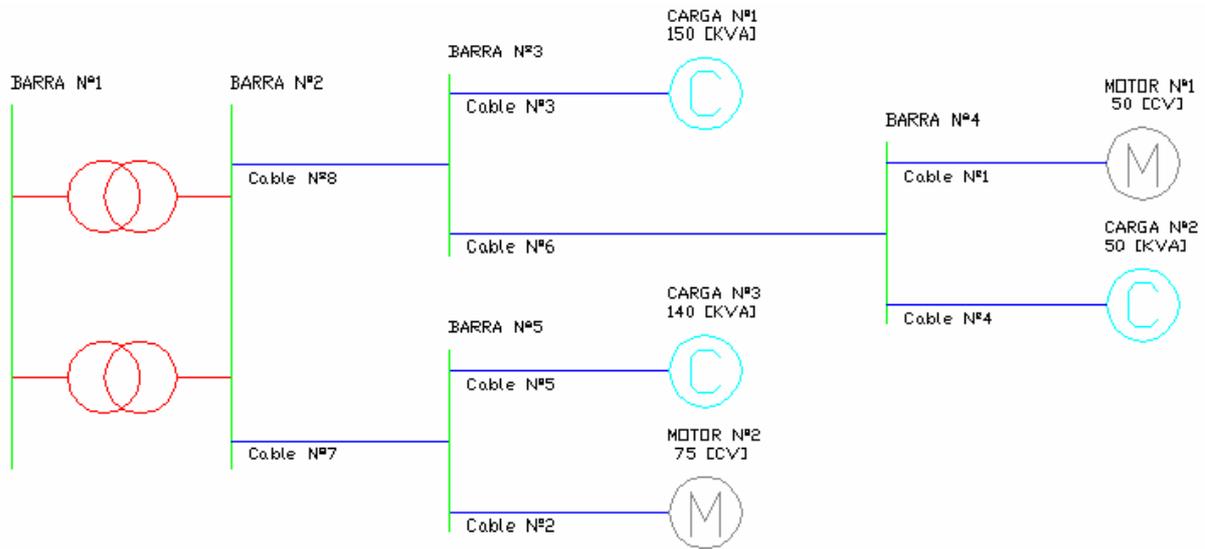


Fig. N° 78. Correcta numeración de los Cables de Alimentación a Barras.

En la figura N° 78 se puede ver como fueron numerados los *Cables de Alimentación a Barras*. El primer cable que se encuentra numerado es el Cable N° 6, el cual se encuentra entre las barras N° 3 y N° 4. El cable que se encuentra unido a la barra N° 3 fue seleccionado después del cable N° 6 debido a que por el mismo circulara la corriente de alimentación a las Cargas N° 1 y N° 2 y también la del Motor N° 1. Esta forma de numerar los cables, es una regla que hay que seguir para que el programa funcione correctamente. Si el usuario se equivoca y señala primero al cable N° 8 (antes que al cable N° 6) solamente aparecerá en el TextBox de *Corrientes Absorbidas por los Cables* la corriente de funcionamiento de la carga N° 1. También se podría haber elegido como primer cable al cable N° 7 ya que este cable no comparte con otro *Cables de Alimentación a Barras* una barra.

Una vez identificado como se enumeraran los cables, se deberá seleccionar las coordenadas. La primera coordenada a señalar se encuentra a la izquierda del cable y en la figura N° 79 aparece señalado con la función **Insert**.

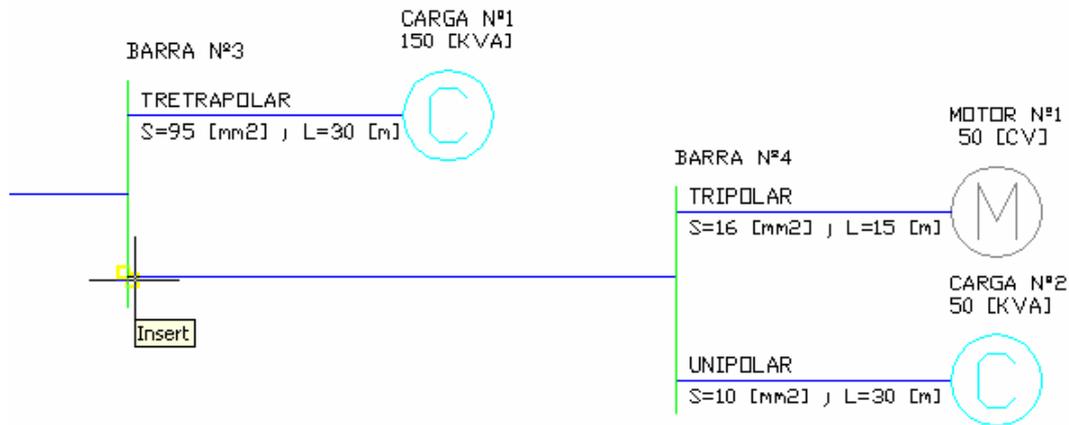


Fig. N° 79. Selección del Cable del Motor.

La segunda coordenada a señalar se encuentra a la derecha del cable y en la figura N° 80 aparece señalado con la función **Intersección**.

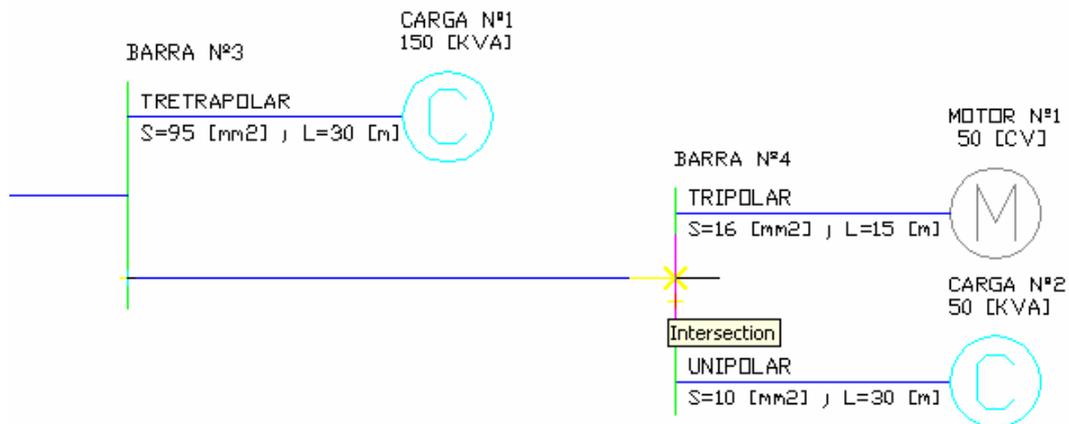


Fig. N° 80. Selección del Cable del Motor

En caso de seleccionar mal el cable, aparecerá un cartel aclaratorio indicando que el cable esta mal seleccionado y no se podrá seguir utilizando el programa hasta que el mismo este bien identificado.



Fig. N° 81. Cartel Aclaratorio



Finalizada la identificación de coordenadas del cable, aparecerá sobre un TextBox cual es la corriente necesaria para la alimentación de todos los componentes que se encuentran aguas abajo de la barra ubicada a la derecha del cable. En la figura N° 82 se puede observar lo mencionado anteriormente.

Fig. N° 82. Formulario de Cables de Alimentación a Barras.

Siguiendo con el ejemplo, por el cable de alimentación a barras seleccionado circulará la corriente de funcionamiento del motor N° 1 que es  $I=70$  [A] y la corriente de funcionamiento de la carga N° 2 que es  $I=75.96$  [A].

Cabe señalar que para sumar distintas corrientes, el software realiza una suma vectorial, es decir:

$$I_1 = I_{A1} + jI_{R1} \quad I_2 = I_{A2} + jI_{R2}$$

$$I_T = I_1 + I_2 = (I_{A1} + I_{A2}) + j(I_{R1} + I_{R2})$$



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

El próximo TextBox a completar es el del *Factor de Simultaneidad*. El mismo es un coeficiente el cual tiene en cuenta si los motores y/o cargas que se encuentran aguas abajo del cable de alimentación a barras están en funcionamiento al mismo tiempo. En este caso, si tanto el motor como la carga se encuentran funcionando al mismo tiempo, el *Factor de Simultaneidad* será de 1 y en caso contrario, es decir, que tanto la carga como el motor no estén funcionando al mismo tiempo, el *Factor de Simultaneidad* será menor que 1.

En ambos casos, será la elección del usuario completar dicho valor de acuerdo a las necesidades de la instalación y su valor modificara a la selección del cable. Siguiendo con el mismo ejemplo, supongamos que F.S sea 0.8. Oprimiendo el botón **Calcular**, se hará el producto entre la corriente absorbida por los cables y el F.S y se obtendrá la *Corriente Real de Circulación*, tal como se observa en la figura N° 83.

CANTIDAD DE CABLES	3	LONGITUD DEL CABLE	35	M
CABLE N°	6			
SELECCIÓN DE COORDENADAS				
CORRIENTE ABSORBIDA POR LOS CABLES	145.88	A	F.S	0.8
CALCULO	CORRIENTE REAL	116.7	A	
LIBRERIA				
TIPO DE CABLE	MATERIAL	SECCIÓN	MM2	
RESISTENCIA	REACTANCIA INDUCTIVA	CORRIENTE MAXIMA	A	
Ω	Ω			
ATRAS	ASIGNAR	SALIR		

Fig. N° 83. Corriente real de circulación por el conductor.



Una vez obtenido el valor de la corriente, el usuario ya está en condiciones de poder seleccionar el tipo de cable. El cable se selecciona de la misma forma que se seleccionó en los casos anteriores: manualmente o mediante la librería que ya tiene el software y el mismo tendrá el siguiente aspecto.

Una vez elegido el cable, se deberá oprimir el botón **Asignar** y tanto los valores introducidos como los calculados, se guardaran y serán usados para el paso final que es el calculo de cortocircuitos.

The screenshot shows a software window titled "CABLES DE ALIMENTACION A BARRAS". It contains the following fields and buttons:

- CANTIDAD DE CABLES: 3
- CABLE N°: 6
- LONGITUD DEL CABLE: 15 M
- SELECCIÓN DE COORDENADAS (button)
- CORRIENTE ABSORBIDA POR LOS CABLES: 145.88 A
- F.S: 0.8
- CALCULO (button)
- CORRIENTE REAL: 116.7 A
- LIBRERIA (button)
- TIPO DE CABLE: UNIPOLAR
- MATERIAL: COBRE
- SECCIÓN: 25 MM<sup>2</sup>
- RESISTENCIA: 0.010905 Ω
- REACTANCIA INDUCTIVA: 0.001605 Ω
- CORRIENTE MAXIMA: 140 A
- ATRAS (button)
- ASIGNAR (button)
- SALIR (button)

Fig. N° 84. Formulario de Cables de Alimentación a Barras completo.

Este proceso se deberá repetir tanta veces como *Cables de Alimentación a Barras* posee la instalación.

Una vez que ya se terminó de identificar a cada el cable, el *Diagrama Unifilar* sobre la pantalla del AutoCAD quedará de la siguiente manera:



## Facultad de Ingeniería Proyecto Final

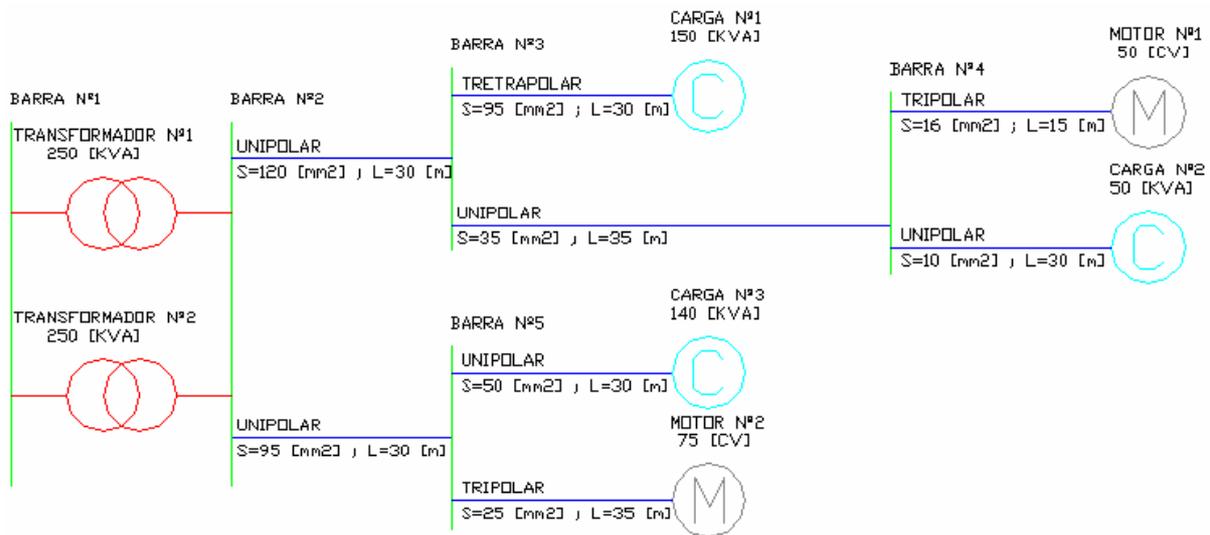


Fig. N° 85. Diagrama Unifilar Completo.

Como se puede ver en la figura N° 78 cada componente aparece dibujado en un color distinto y sus principales características están en color negro. La finalidad es obtener una mejor imagen gráfica de los objetos y poder diferenciarlos fácilmente.

## Cálculos

Finalizada la introducción de todos los datos correspondientes a los dispositivos que forman la instalación eléctrica a la cual se le quiere calcular las corrientes de cortocircuitos, el software ya está en condiciones de empezar a realizar los cálculos pertinentes. Para ello, deberá seleccionar en el formulario denominado **Cálculos** que tipo de operaciones desea hacer, tal como lo indica la figura N° 86.



The image shows a software window titled "CALCULOS" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). Inside the window, there is a section titled "OPERACIONES" which contains three checkboxes, each followed by a label: "CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO", "CORTOCIRCUITO BIFÁSICO", and "CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO". Below this section is a large button labeled "CALCULAR". At the bottom of the window, there are two smaller buttons: "ATRAS" on the left and "SALIR" on the right.

Fig. N° 86. Formulario de Cálculos.

En la figura N° 86 se puede apreciar la apariencia del formulario correspondiente a los cálculos. Como se mencionó anteriormente, el software puede calcular corrientes de cortocircuitos *Trifásicas*, *Bifásicas* y *Monofásica*. Para ello, el usuario tendrá que seleccionar el CheckBox correspondiente a cada cálculo que desea realizar, pudiendo ser simultáneamente los tres a la vez, solamente uno o alguna combinación entre ellos.

Para poder entender como el software realiza internamente los cálculos para calcular las corrientes anteriormente mencionadas, volvamos de nuevo al ejemplo de la figura N° 85.

Para ello, identificaremos las impedancias que entran en juego para calcular las corrientes de cortocircuito trifásicas en cada barra.



## Impedancias de cada Barra

**Barra N° 1:** la única impedancia a tener en cuenta para realizar el cortocircuito en la barra N° 1 es la red de alimentación, que la llamaremos: Impedancia  $Z_{11}$ .

$$Z_1 = Z_{11}$$

• **Barra N° 2:** la impedancia a tener en cuenta en cuenta para realizar el cortocircuito en la barra N° 2 es la impedancia de la red de alimentación (Impedancia  $Z_{11}$ ) más la impedancia de los transformadores. Hay que tener en cuenta que los transformadores se encuentran en paralelo y la llamaremos: Impedancia  $Z_{12}$ .

$$Z_2 = Z_{11} + Z_{12}$$

• **Barra N° 3:** la impedancia a tener en cuenta en cuenta para realizar el cortocircuito en la barra N° 3 es la impedancia de la red de alimentación (Impedancia  $Z_{11}$ ) más la impedancia de los transformadores (Impedancia  $Z_{12}$ ) mas la impedancia del cable que se encuentra entre las barras N° 2 y N° 3 que llamaremos: Impedancia  $Z_{23}$

$$Z_3 = Z_{11} + Z_{12} + Z_{23}$$

• **Barra N° 4:** la impedancia a tener en cuenta en cuenta para realizar el cortocircuito en la barra N° 4 es la impedancia de la red de alimentación (Impedancia  $Z_{11}$ ) más la impedancia de los transformadores (Impedancia  $Z_{12}$ ) mas la impedancia del cable que se encuentra entre las barras N° 2 y N° 3 (Impedancia  $Z_{23}$ ) mas la impedancia del cable que se encuentra entre las barras N° 3 y N° 4 que llamaremos: Impedancia  $Z_{34}$ .

$$Z_4 = Z_{11} + Z_{12} + Z_{23} + Z_{34}$$



- **Barra N° 5:** la impedancia a tener en cuenta en cuenta para realizar el cortocircuito en la barra N° 5 es la impedancia de la red de alimentación (Impedancia  $Z_{11}$ ) más la impedancia de los transformadores (Impedancia  $Z_{12}$ ) mas la impedancia del cable que se encuentra entre las barras N° 2 y N° 5 que llamaremos: Impedancia  $Z_{25}$

$$Z_5 = Z_{11} + Z_{12} + Z_{25}$$

Con todas las impedancias calculadas, se puede formar la siguiente matriz de impedancias:

$$\text{Matriz } Z = \begin{array}{c|ccccc|} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & \\ \hline & Z_{11} & Z_{12} & 0 & 0 & 0 & \\ & 0 & 0 & Z_{23} & 0 & Z_{25} & \\ \text{Matriz } Z = & 0 & 0 & 0 & Z_{34} & 0 & \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \\ \hline \end{array}$$

Los subíndices 1, 2, 3, 4 y 5 corresponden a sus respectivas barras. Esta matriz se puede formar siempre y el software lo hace internamente para hacer los cálculos y en base a esta matriz forma las impedancias ( $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 \dots$ ) que se tienen en cuenta para poder calcular las corrientes de cortocircuitos. Cabe señalar que en la Matriz Z habrá solamente un valor por cada columna de la misma y cada subíndice corresponde al valor de la impedancia que de los cables de alimentación entre barras

Una vez que el software ya armo internamente la matriz Z, la empieza a recorrer por columnas, empezando por la primera y finalizando en la última.

De esta forma, las impedancias a tener en cuenta para poder hacer los cálculos mencionados será solamente la  $Z_{11}$ , debido a que en la columna N° 1 solo se encuentra dicha impedancia.



$$Z_1 = Z_{11}$$

Para calcular la impedancia N° 2, el software empieza a recorrer a la matriz Z por la 2<sup>da</sup> columna y se encuentra con la impedancia  $Z_{12}$ , luego empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 2 y se encuentra con la impedancia  $Z_{11}$ , siendo ésta la ultima impedancia a sumar. Lo enunciado se muestra con la siguiente ecuación:

$$Z_2 = Z_{12} + Z_{11}$$

Para calcular la impedancia N° 3, el software empieza a recorrer a la matriz Z por la 3<sup>ra</sup> columna y se encuentra con la impedancia  $Z_{23}$ , luego empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 3 y se encuentra con la impedancia  $Z_{12}$ . De nuevo empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 2 y se encuentra con la impedancia  $Z_{11}$ , siendo ésta la ultima impedancia a sumar. Lo enunciado se muestra con la siguiente ecuación:

$$Z_3 = Z_{23} + Z_{12} + Z_{11}$$

Para calcular la impedancia N° 4, el software empieza a recorrer a la matriz Z por la 4<sup>ta</sup> columna y se encuentra con la impedancia  $Z_{34}$ , luego empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 4 y se encuentra con la impedancia  $Z_{23}$ . De nuevo



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 3 y se encuentra con la impedancia  $Z_{12}$ . Por ultimo, empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 2 y se encuentra con la impedancia  $Z_{11}$  siendo ésta la última impedancia a sumar. Lo enunciado se muestra con la siguiente ecuación:

$$Z_4 = Z_{34} + Z_{23} + Z_{12} + Z_{11}$$

Para calcular la impedancia N° 5, el software empieza a recorrer a la matriz Z por la 5<sup>ta</sup> columna y se encuentra con la impedancia  $Z_{25}$ , luego empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 5 y se encuentra con la impedancia  $Z_{12}$ , luego empieza a recorrer la columna que esta asociada al primer subíndice de la impedancia encontrada en la columna N° 2 y se encuentra con la impedancia  $Z_{11}$  siendo ésta la ultima impedancia a sumar. Lo enunciado se demuestra con la siguiente ecuación:

$$Z_5 = Z_{25} + Z_{12} + Z_{11}$$

Para realizar la suma de las impedancias, el software forma dos matrices: una con las *Resistencias* y otra con las *Reactancias Inductivas*, debido a que las impedancias poseen modulo y ángulo y deben sumarse por componentes.

Lo enunciado anteriormente en el ejemplo en lo que se refiere al cálculo que realiza internamente el software para poder calcular las impedancias directas con el fin de calcular las corrientes de cortocircuito, es aplicable a cualquier diagrama unifilar y su regla se verifica siempre !!!.



Por otro lado, para calcular las *Corrientes de Cortocircuito Trifásicas Máximas*, la ecuación que utiliza el software es la siguiente:

$$I''_{K3p} = C \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|}$$

Donde  $Z_1$  representa a la impedancia de secuencia directa y  $C$  toma el valor 1 debido a que el software calcula la máxima corriente de cortocircuito.

En este caso, las impedancias calculadas por el software, cuyo método de obtención se explicó anteriormente, es la que se utiliza para el cálculo de dicha corriente.

En lo que se refiere a la corriente de impulso, la ecuación que utiliza el software es la siguiente:

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3,0301 \cdot R/X} \quad I_S = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{K3p}$$

Siendo  $\chi$  el factor de cresta que depende de la relación de  $R/X$  de la impedancia a tener en cuenta para calcular las *Corrientes de Cortocircuito Trifásicas*.

Para calcular las *Corrientes de Cortocircuito Bifásicas* se utilizó el mismo mecanismo matemático, salvo que se tuvo que tener en cuenta tanto la impedancia de secuencia directa  $Z_1$  como la impedancia de secuencia inversa  $Z_2$ . En el caso de los conductores, se consideró las impedancias de secuencias directa e inversa son iguales ( $Z_1 = Z_2$ ) es decir solo es necesario poder calcular el valor de la impedancia de secuencia directa  $Z_1$ . La ecuación matemática que utiliza el software para poder hacer los cálculos mencionados anteriormente es:



$$I''_{K2p} = C \cdot \frac{U_N}{|Z_1| + |Z_2|} \quad I''_{K2p} = C \cdot \frac{U_N}{2 \cdot |Z_1|}$$

Donde C toma el valor 1 debido a que el software calcula la máxima corriente de cortocircuito.

Para poder calcular las *Corrientes de Cortocircuito Monofásicas* se utilizó el mismo mecanismo matemático, salvo que se tuvo que tener en cuenta tanto la impedancia de secuencia directa  $Z_1$  como la impedancia de secuencia homopolar  $Z_0$ .

La impedancia homopolar de los conductores se obtuvo a partir de la resistencia y reactancia homopolar que fueron sacadas del libro *Instalaciones Electricas: Tomo I* (Publicado por Albert F. Spita) y sus valores se muestran en las figuras N° 87 y N° 88.

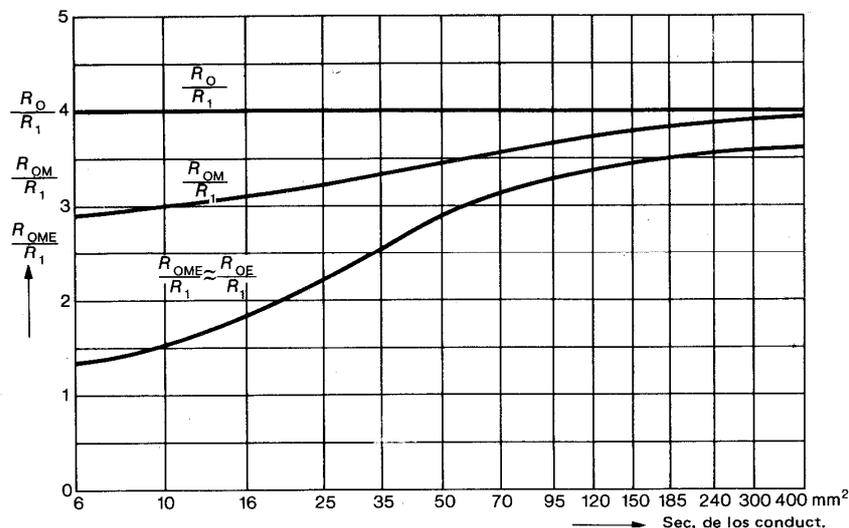


Fig. N° 87 A. Cable con conductores de Cobre.

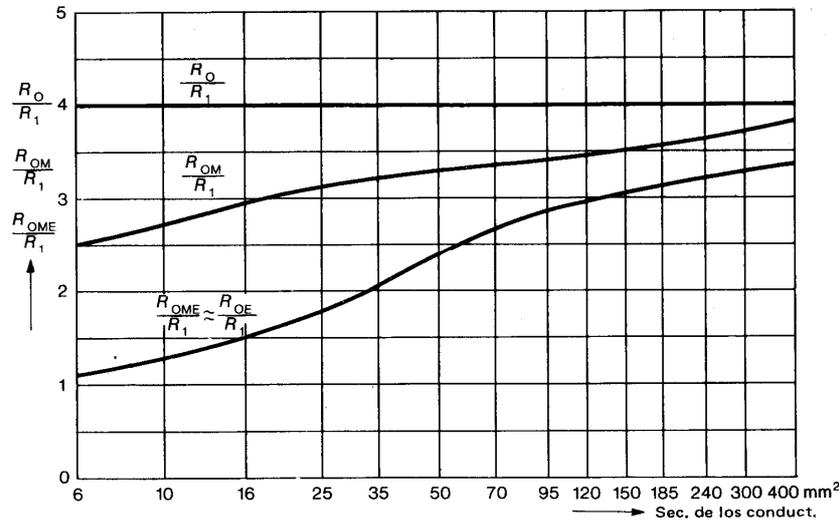


Fig. N° 87 B. Cable con conductores de Aluminio.

La figura N° 87 representa los valores medios de la relación entre la resistencia óhmica del sistema homopolar y la del sistema directo, por cada conductor a 50 Hz siendo la 87 A para cobre y la 87 B para aluminio:

$R_0$  solo con el cuarto conductor de retorno.

$R_{0M}$  el cuarto conductor y la envolvente del cable como conductores de retorno.

$R_{0E}$  el cuarto conductor y la tierra como conductores de retorno.

$R_{0ME}$  el cuarto conductor, la envolvente del cable y la tierra como conductores de retorno.

Para conocer el valor de la resistencia homopolar en función de la sección del conductor, el software utiliza la relación  $R_0/R_1=4$  para todas las secciones, es decir, considera solamente como resistencia homopolar al cuarto conductor de retorno.

La figura N° 88 representa los valores medios de la relación entre la resistencia óhmica del sistema homopolar y la del sistema directo, por cada conductor a 50 Hz siendo 88 A para cobre y 88 B para aluminio.

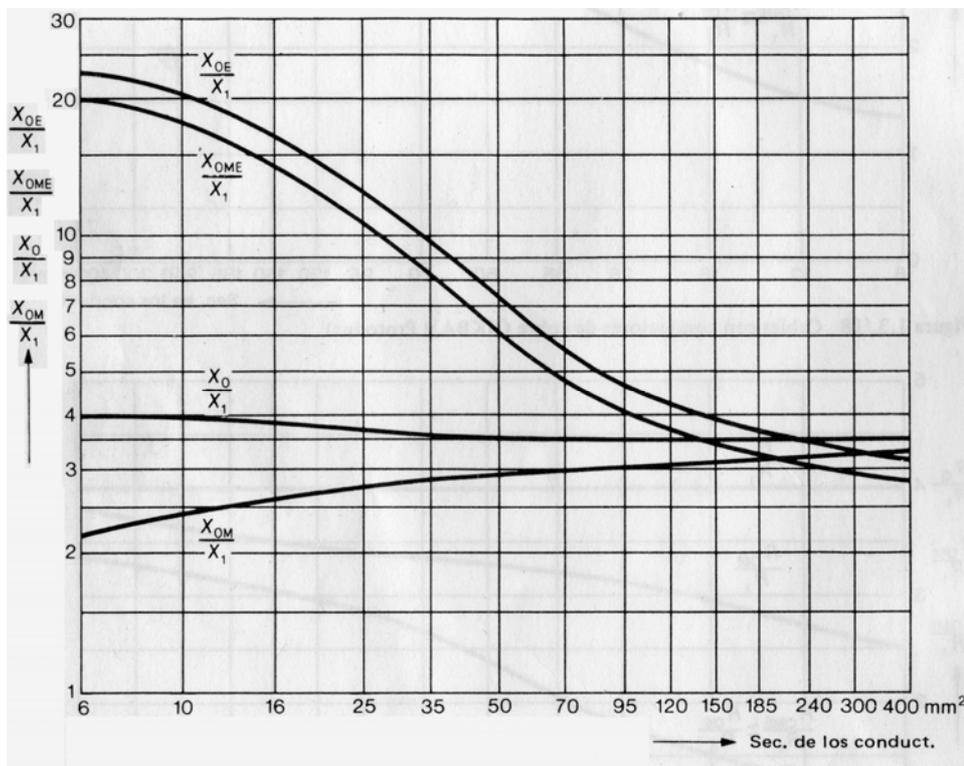


Fig. N° 88 A. Cable con conductores de Cobre

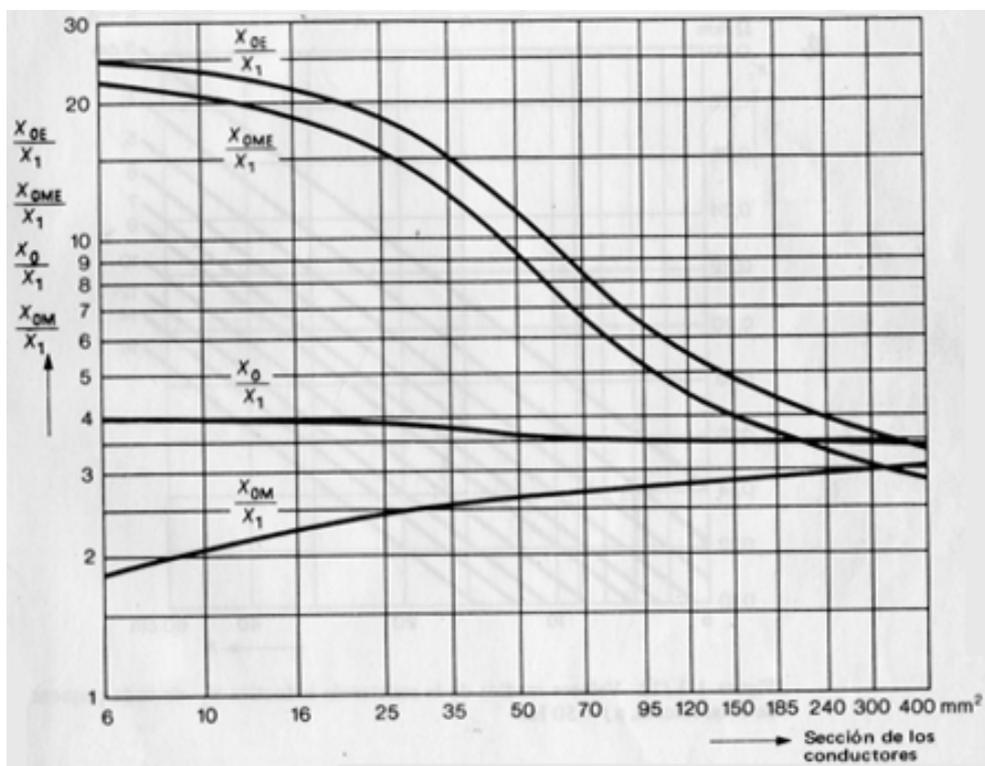


Fig. N° 88 B. Cable con conductores de Aluminio



Siendo:

$X_0$  solo con el cuarto conductor de retorno.

$X_{0M}$  el cuarto conductor y la envolvente del cable como conductores de retorno.

$X_{0E}$  el cuarto conductor y la tierra como conductores de retorno.

$X_{0ME}$  el cuarto conductor, la envolvente del cable y la tierra como conductores de retorno.

Para conocer el valor de la resistencia homopolar en función de la sección del conductor, el software utiliza la relación  $X_0/X_1$ .

La impedancia homopolar del transformador se considero como el 90% de la impedancia directa, es decir:

$$Z_0 = 0.9 \cdot Z_1$$

Teniendo los datos de la resistencia y reactancia homopolar el software calcula la impedancia homopolar para poder calcular las *Corrientes de Cortocircuito Monofásicas* de la siguiente manera:

$$I''_{K1p} = C \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{|Z_1| + |Z_2| + |Z_0|}$$

Nuevamente se considero que las impedancias de secuencias directa e inversa son iguales ( $Z_1 = Z_2$ ) y C adopta el valor y la ecuación final que utiliza el software es la siguiente:

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{2 \cdot |Z_1| + |Z_0|}$$

Si se comparan las ecuaciones que utiliza el software para calcular los cortocircuitos trifásicos y los cortocircuitos monofásicos, se puede observar



que el cortocircuito monofásico es mayor que el trifásico solo en los bornes del transformador, ya que impedancia homopolar del transformador es  $Z_0 = 0.9 \cdot Z_1$  y la de los conductores es, aproximadamente,  $Z_0 \cong 4 \cdot Z_1$ .

## Aporte de los Motores

El aporte de los motores solo se consideró en el cálculo de las *corrientes de cortocircuitos trifásicos*.

Hay que destacar que los motores aportan al cortocircuito solo en el periodo subtransitorio debido al rápido amortiguamiento, es importante considerarlo especialmente por su incidencia sobre la corriente de impulso.

Se puede no considerar el aporte de los motores, sin demasiado error, cuando la suma de las corrientes nominales de los motores que pueden estar simultáneamente en servicio *no* supera el 1% de la corriente subtransitoria aportada por la red, es decir:

$$\sum I_N < 0.01 \cdot I_{K3}''$$

El software calcula dos resultados de las *corrientes de cortocircuitos trifásicos*: uno sin considerar el aporte de los motores y otro considerando el aporte de los mismos. Para la realización del cálculo solo se tuvo en cuenta la impedancia de los motores, que se obtuvo como:

$$X_M = \frac{1}{\frac{I_{an}}{I_{NM}}} \cdot \frac{U_{NM}}{\sqrt{3} \cdot I_N} \quad R_M = 0.3 \cdot X_M$$

Esta simplificación se puede realizar debido a que la impedancia de los motores, en la mayoría de los casos, es mucho mayor que la de los conductores y el error que se comete al no tenerla en cuenta es mínimo.



Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final

La figura N° 89 representa como queda el formulario con todos los resultados finales de las corrientes de cortocircuitos en cada barra, para un determinado esquema unifilar.

	BARRA N°1	BARRA N°2	BARRA N°3	BARRA N°4	BARRA N°5
CON APORTE DE LOS MOTORES					
IK3 [KA]	16.389	14.383	11.625	7.237	11.313
IS [KA] CRESTA	28.885	28.299	20.364	11.22	19.321
SIN APORTE DE LOS MOTORES					
IK3 [KA]	15.325	13.319	10.561	6.173	10.249
IS [KA] CRESTA	26.765	26.179	18.244	9.1	17.201
IK2 [KA]		11.535	9.146	5.346	8.876
IS [KA] CRESTA		22.673	15.8	7.881	14.897
IK1 [KA]		14.345	8.652	3.756	8.133
IS [KA] CRESTA		28.252	13.69	5.438	12.502

Fig. N° 89. Formulario con los resultados finales.

Presionando el botón **Guardar**, todos los resultados obtenidos son almacenados en el archivo Excel que el usuario abrió al principio del programa y queda formado de la siguiente manera:

▶ \ RESULTADOS /	RED /	TRANSFORMADOR /	MOTOR /	CARGA /	BARRAS /	CABLE ENTRE BARRAS /
------------------	-------	-----------------	---------	---------	----------	----------------------

Fig. N° 90. Planilla de Calculo Excel

De esta manera, el usuario puede tener acceso a todos los datos introducidos como así también a todos los datos calculados por el propio software. Esta es una forma de tener más presentes los datos introducidos y a la vez una manera hacer alguna modificación de los mismos.



## Capítulo 3

### Utilización del Software con un ejemplo

A continuación se va a utilizar el software para realizar los cálculos con el fin de conocer los valores de las corrientes de cortocircuito Trifásicas, Bifásicas y Monofásicas de una instalación que responde al diagrama unifilar que se muestra en la figura N° 1. Los resultados que nos entregara el software serán comparados con los que se obtienen si los cálculos mencionados anteriormente se hacen manualmente.

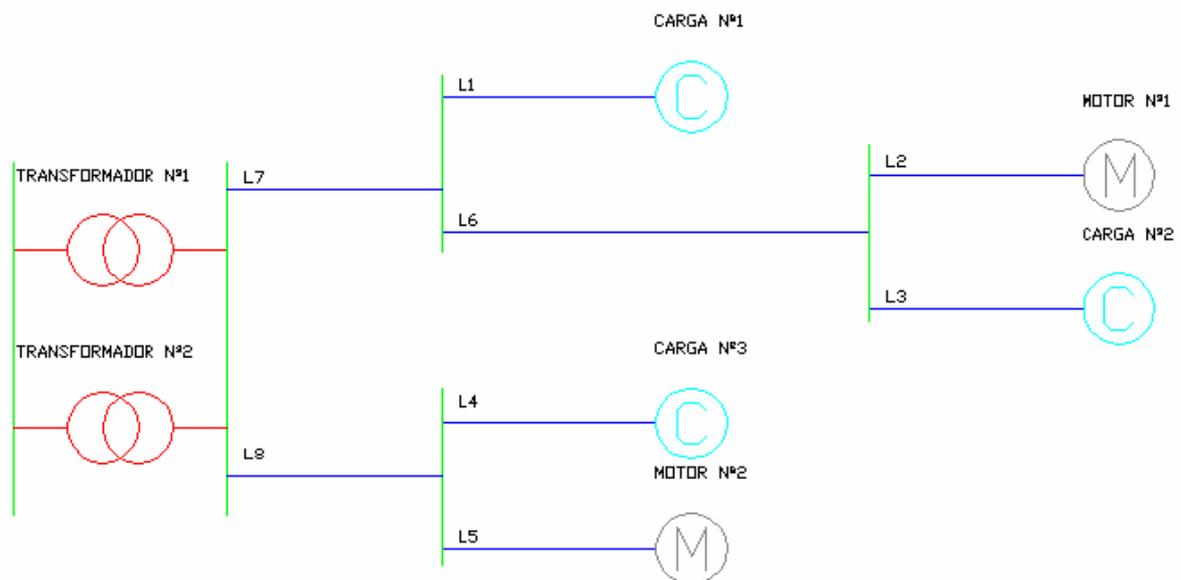


Fig. N° 1. Esquema Unifilar

Los datos de todos los componentes que forman la instalación, se pueden observar en la siguiente tabla.

C1	C2	C3	M1	M2	T1	T2	U1	U2	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
KVA	KVA	KVA	CV	CV	KVA	KVA	KV	KV	m	m	m	m	m	m	m	m
150	50	150	50	75	250	250	13.2	0.38	30	15	30	30	35	35	30	30



## Facultad de Ingeniería Proyecto Final

Utilizando el software según se explicó a lo largo de toda la monografía, se fueron cargando todos los datos y seleccionando los tipos de cables para armar la instalación. La figura N° 2 muestra como queda el diagrama unifilar completo, en el cual se pueden apreciar valores característicos de los componentes que forman la instalación.

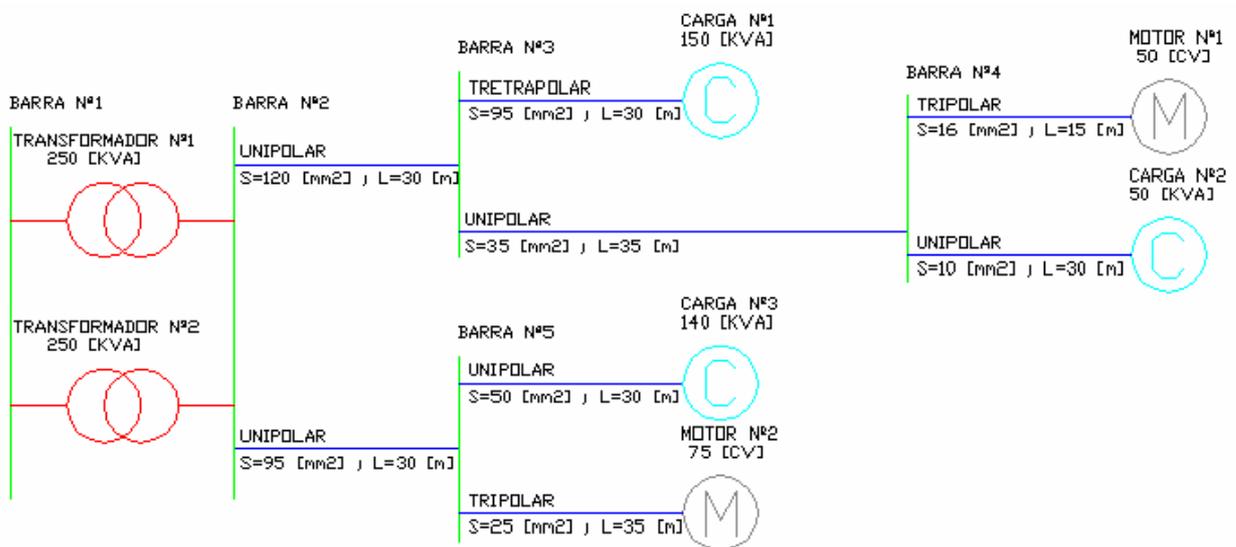


Fig. N° 2. Esquema Unifilar final

Como se puede apreciar en la figura N° 2, en el diagrama unifilar final aparecen una serie de datos los cuales fueron seleccionados e ingresados por el usuario, en los que se puede visualizar las características de los Transformadores, Motores, Cargas, Cables y la numeración de las Barras de alimentación.

La forma que utiliza el software para expresar los resultados calculados, los cuales fueron seleccionados por el usuario, se muestra en la figura N° 93, en la cual se pueden apreciar: las *Corrientes de Cortocircuito Trifásicas* con aporte de los motores y sin aporte de los mismos y las *Corrientes de impulso*; las *Corrientes de Cortocircuito Bifásicas* y las *Corrientes de impulso* y las *Corrientes de Cortocircuito Monofásicas* y las *Corrientes de impulso*.



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**

Cabe señalar que todos los valores expresados de las corrientes de cortocircuitos están en [KA] y los valores de corrientes de cortocircuitos calculados en la *Barra N° 1* están referidos a media tensión.

	BARRA N°1	BARRA N°2	BARRA N°3	BARRA N°4	BARRA N°5
CON APOORTE DE LOS MOTORES					
IK3 [KA]	16.389	14.383	11.625	7.237	11.313
IS [KA] CRESTA	28.885	28.299	20.364	11.22	19.321
SIN APOORTE DE LOS MOTORES					
IK3 [KA]	15.325	13.319	10.561	6.173	10.249
IS [KA] CRESTA	26.765	26.179	18.244	9.1	17.201
IK2 [KA]		11.535	9.146	5.346	8.876
IS [KA] CRESTA		22.673	15.8	7.881	14.897
IK1 [KA]		14.345	8.652	3.756	8.133
IS [KA] CRESTA		28.252	13.69	5.438	12.502

Fig. N° 3. Formulario de Resultados

Presionando el botón **Guardar**, los datos son automáticamente guardados en la planilla de cálculo de Excel que se tuvo que abrir al empezar a utilizar el software.

La planilla de cálculo Excel en donde se fueron guardando todos los datos ingresados y también los calculados por el software para que el usuario pueda tener acceso a los mismos con el fin de poder recuperar los datos ingresados o hacer alguna modificación acerca de los mismos, quedo formada de la siguiente manera:

▶	RESULTADOS	/	RED	/	TRANSFORMADOR	/	MOTOR	/	CARGA	/	BARRAS	/	CABLE ENTRE BARRAS	/
---	------------	---	-----	---	---------------	---	-------	---	-------	---	--------	---	--------------------	---

Fig. N° 4. Planilla de calculo Excel



**Facultad de Ingeniería  
Proyecto Final**

En la figura N° 94 se puede apreciar como queda formada la planilla de calculo Excel que se tuvo que abrir al iniciar a utilizar le software. La planilla de cálculo esta formada por 7 hojas que son: *Resultados, Red, Transformador, Motor, Carga, Barras, Cable de Alimentación*. Ingresando en cada una de las hojas, el usuario tiene acceso a todos los datos introducidos y calculados por el programa tal como lo muestran las siguientes figuras:

	A	B	C	D	E	F	G
1		BARRA Nº 1	BARRA Nº 2	BARRA Nº 3	BARRA Nº 4	BARRA Nº 5	
2	CON APORTE DE LOS MOTORES						
3	IK3[KA]	16.389	14.383	11.625	7.237	11.313	
4	IS [KA] CRESTA	28.885	28.299	20.364	11.22	19.321	
5	SIN APORTE DE LOS MOTORES						
6	IK3[KA]	15.325	13.319	10.561	6.173	10.249	
7	IS [KA] CRESTA	26.765	26.179	18.244	9.1	17.201	
8							
9	IK2[KA]		11.535	9.146	5.346	8.876	
10	IS [KA] CRESTA		22.673	15.8	7.881	14.897	
11							
12	IK1[KA]		14.345	8.652	3.756	8.133	
13	IS [KA] CRESTA		28.252	13.69	5.438	12.502	
14							
15							
16							
17							

Fig. N° 5. Planilla de *Resultados*

	A	B	C
1	RED DE ALIMENTACION		
2	POTENCIA DE LA RED [MVA]	350	
3	TENSION PRIMARIA [KV]	13.2	
4	TENSION SECUNDARIA [KV]	0.4	
5	R/X	0.5	
6	ZMT	0.547	
7	RBT	0.00022455	
8	XBT	0.0004491	
9			
10			
11			
12			

Fig. N° 6. Planilla de la *Red de Alimentación*



	A	B	C	D	E
1	TRANSFORMADOR	Nº1	Nº2		
2	TENSION PRIMARIA [KV]	13.2	13.2		
3	TENSION SECUNDARIA [KV]	0.4	0.4		
4	POTENCIA [KVA]	250	250		
5	UR %	1.5	1.5		
6	UCC %	5	5		
7	IMPEDANCIA	0.032	0.032		
8	RESISTENCIA	0.0096	0.0096		
9	REACTANCIA	0.0305	0.0305		
10	POSICION 1 [X]	158.05	158.05		
11	POSICION 1 [Y]	221.22	171.22		
12	POSICION 2 [X]	218.05	218.05		
13	POSICION 2 [Y]	221.22	171.22		
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26	RESISTENCIA TOTAL			0.00479	
27	REACTANCIA TOTAL			0.01524	
28					

Fig. N° 7. Planilla de *Transformador*

Las filas 14-25 de la figura N° 7 están vacías debido a que esos lugares están guardados para poder colocar los datos referentes a los cables del lado de baja tensión del transformador, en caso de no ser de longitud despreciable.



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**

	A	B	C	D
1	MOTOR N°	1	2	
2	POTENCIA [CV]	50	75	
3	RENDIMIENTO %	91	94	
4	COSENO	0.87	0.87	
5	CORRIENTE	70	97	
6	POSICION X	458.05	338.05	
7	POSICION Y	249	142.35	
8	RELACION I <sub>an</sub> /I <sub>n</sub>	6.6	6.7	
9	CABLE MOTOR N°	1	2	
10	LARGO	15	35	
11	TIPO	TRIPOLAR	TRIPOLAR	
12	MATERIAL	COBRE	COBRE	
13	SECCION	16	25	
14	RESISTENCIA	0.01725	0.025445	
15	REACTANCIA	0.00123	0.002835	
16	CORRIENTE	80	106	
17	POSICION 1 [X]	398.05	278.05	
18	POSICION 1 [Y]	249	142.35	
19	POSICION 2 [X]	458.05	338.05	
20	POSICION 2 [Y]	249	142.35	
21	CANT. MOTOR	2		
22				

Fig. N° 8. Planilla del *Motor y Cables asociados a los mismos*

	A	B	C	D	E
1	CARGA N°	1	2	3	
2	POTENCIA [KVA]	150	50	140	
3	COSENO	0.85	0.85	0.85	
4	CORRIENTE	227.9	75.96	212.7	
5	POTENCIA [KW]	127.49	42.49	118.99	
6	POSICION X	338.05	458.05	338.05	
7	POSICION Y	253.42	211.8	177.33	
8	CABLE CARGA N°	3	4	5	
9	LARGO	30	30	30	
10	TIPO	TRETRAPOLAR	UNIPOLAR	UNIPOLAR	
11	MATERIAL	COBRE	COBRE	COBRE	
12	SECCION	95	10	50	
13	RESISTENCIA	0.00579	0.0549	0.01161	
14	REACTANCIA	0.00237	0.0036	0.00297	
15	CORRIENTE	244	79	212	
16	POSICION 1 [X]	278.05	398.05	278.05	
17	POSICION 1 [Y]	253.42	211.8	177.33	
18	POSICION 2 [X]	338.05	458.05	338.05	
19	POSICION 2 [Y]	253.42	211.8	177.33	
20	CANT. DE CARGAS	3			
21					
22					

Fig. N° 9 Planilla de las *Cargas y Cables asociados a las mismas*



	A	B	C	D	E	F	G
1	BARRA Nº	1	2	3	4	5	
2	POSICION 1 [X]	158.05	218.05	278.05	398.05	278.05	
3	POSICION 1 [Y]	246.22	246.22	261.21	254.57	184.56	
4	POSICION 2 [X]	158.05	218.05	278.05	398.05	278.05	
5	POSICION 2 [Y]	146.22	146.22	211.21	204.57	134.56	
6	CANTIDAD DE BARRAS	5					
7							
8							

Fig. Nº 10. Planilla de *Barras*

	A	B	C	D	E
1	CABLE Nº	6	7	8	
2	LARGO	35	30	30	
3	CORRIENTE	145.93	373.81	309.64	
4	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	1	0.9	1	
5	CORRIENTE REAL	145.93	336.42	309.64	
6	TIPO	UNIPOLAR	UNIPOLAR	UNIPOLAR	
7	MATERIAL	COBRE	COBRE	COBRE	
8	SECCION	35	120	95	
9	RESISTENCIA	0.01834	0.00459	0.00579	
10	REACTANCIA	0.003535	0.00273	0.00279	
11	CORRIENTE (CABLE)	174	386	331	
12	POSICION 1 [X]	278.05	218.05	218.05	
13	POSICION 1 [Y]	217.89	236.21	159.56	
14	POSICION 2 [X]	398.05	278.05	278.05	
15	POSICION 2 [Y]	217.89	236.21	159.56	
16	CANTIDAD DE CABLES	3			
17					
18					
19					

Fig. Nº 11. Planilla de *Cables de Alimentación a Barras*

Ahora analizaremos el mismo diagrama unifilar pero sin utilizar el software, es decir, los cálculos se harán en una hoja de papel y sus resultados serán mostrados en este informe con el fin de comparar los resultados obtenidos por ambos métodos.



- **Aporte de los Motores**

$$X_{M1} = \frac{380V}{\sqrt{3} \cdot 6.6 \cdot 70A} = 0.474\Omega$$

$$X_{M2} = \frac{380V}{\sqrt{3} \cdot 6.7 \cdot 97A} = 0.337\Omega$$

$$R_{M1} = 0.3 \cdot X_{M1} = 0.142\Omega$$

$$R_{M2} = 0.3 \cdot X_{M2} = 0.101\Omega$$

$$Z_{M1} = 0.495\Omega$$

$$Z_{M2} = 0.352\Omega$$

$$I_{M1} = \frac{0.38KV}{\sqrt{3} \cdot 0.492} = 0.442KA$$

$$I_{M2} = \frac{0.38KV}{\sqrt{3} \cdot 0.352} = 0.622KA$$

$$I_M = I_{M1} + I_{M2} = 1.065KA$$

- **Cálculos de la impedancia de la Red de Alimentación**

$$S_K'' = 350 \text{ MVA} \quad R/X = 0.5$$

Impedancia de la Red de Alimentación del lado de media tensión

$$Z_{RMT} = 1,1 \cdot \frac{U_{NQ}^2}{S_K''} = 1,1 \cdot \frac{(13.2)^2}{350} \rightarrow Z_{RMT} = 0.547\Omega$$

Impedancia de la Red de Alimentación del lado de baja tensión

$$Z_{RBT} = Z_{RMT} \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2} \rightarrow Z_{RBT} = 4.53 \times 10^{-4} \Omega$$

Resistencia y Reactancia de la Red de Alimentación del lado de baja tensión

$$R_{BT} = 2.02 \times 10^{-4} \Omega \quad X_{BT} = 4.06 \times 10^{-4} \Omega$$



### Barra N° 1

El circuito equivalente para calcular la corriente de cortocircuito trifásico de la barra N° 1 es el siguiente:

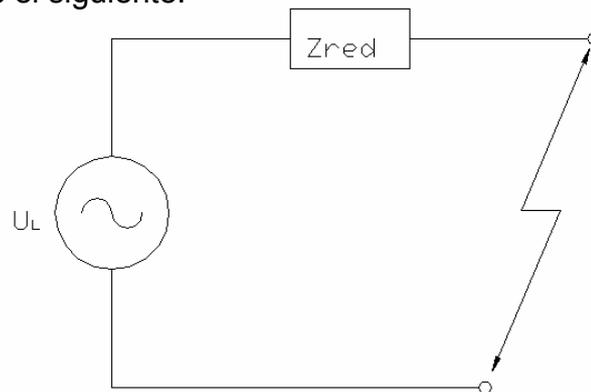


Fig. N° 12. Circuito equivalente.

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Trifásica (lado de media tensión)

$$I''_{K3p} = 1.1 \cdot \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} = 1.1 \cdot \frac{13.2KV}{\sqrt{3} \cdot 0.547\Omega} \Rightarrow I''_{K3p} = 15.32KA$$

### Factor Capa

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (2.02/4.06)} = 1.23$$

### Corriente de Impulso Trifásica

$$I_s = 1.23 \cdot \sqrt{2} \cdot 15.32KA = 26.64KA$$

- Cálculos de la impedancia del Transformador

$$U_{CC}=5 \% \quad U_R=1.5 \%$$



Impedancia del Transformador

$$Z_T = U_{CC} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \Rightarrow Z_T = 0.032\Omega \quad R_T = U_R \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \Rightarrow R_T = 0.0096\Omega$$

$$X_T = 3.05 \times 10^{-2} \Omega$$

Como hay dos transformadores en paralelo y teniendo en cuenta que sus impedancias son idénticas, la impedancia total será la mitad de la impedancia calculada.

$$Z_T = 0.016 \times 10^{-2} \Omega \quad R_T = 0.0048\Omega \quad X_T = 0.0152\Omega$$

## Barra N° 2

El circuito equivalente para calcular la corriente de cortocircuito trifásico de la barra N° 2 es el siguiente:

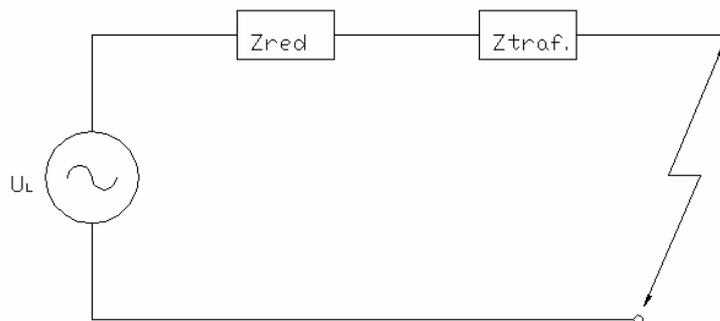


Fig. N° 13. Circuito equivalente.

$$Z = ((2.02 + j4.06) \times 10^{-2} + (0.0048 + j0.0152))\Omega \Rightarrow$$

$$Z = (0.005 + j0.015)\Omega = 1.63 \times 10^{-2} \Omega$$

## Corriente de Corriente de Cortocircuito Trifásica

$$I''_{K3p} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} = \frac{0.38KV}{\sqrt{3} \cdot 1.63 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K3p} = 13.45KA$$



### Corriente de Corriente de Cortocircuito Bifásica

$$I''_{K2p} = \frac{U_N}{|Z_1| + |Z_2|} = \frac{0.38KV}{2 \cdot 1.63 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K2p} = 11.66KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Monofásico

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{2 \cdot |Z_1| + |Z_0|} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(2 \cdot (0.005 + j0.015) + 0.9 \cdot (0.0048 + j0.0152)) \Omega}$$

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(1.43 + j4.36) \times 10^{-2}} \Rightarrow I''_{K1p} = 14.31KA$$

### Factor Capa

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (0.005/0.015)} = 1.37$$

### Corriente de Impulso Trifásica

$$I_s = 1.37 \cdot \sqrt{2} \cdot 13.45KA = 26.05KA$$

### Corriente de Impulso Bifásica

$$I_s = 1.37 \cdot \sqrt{2} \cdot 11.66KA = 22.59KA$$

### Corriente de Impulso Monofásica

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (1.43/4.36)} = 1.38$$

$$I_s = 1.38 \cdot \sqrt{2} \cdot 14.31KA = 27.92KA$$



- **Cables de alimentación a Barras**

**Cable N° 6**

- Tipo de cable: Unipolar
- Material: Cobre
- Sección: 35 [mm<sup>2</sup>]
- Longitud: 35 [m]
- Resistencia: 0.524 [Ω/Km] (0.0183 Ω)
- Reactancia: 0.101 [Ω/Km] (0.0035 Ω)

**Cable N° 7**

- Tipo de cable: Unipolar
- Material: Cobre
- Sección: 120 [mm<sup>2</sup>]
- Longitud: 30 [m]
- Resistencia: 0.153 [Ω/Km] (0.00459 Ω)
- Reactancia: 0.091 [Ω/Km] (0.00273 Ω)

**Cable N° 8**

- Tipo de cable: Unipolar
- Material: Cobre
- Sección: 95 [mm<sup>2</sup>]
- Longitud: 30 [m]
- Resistencia: 0.193 [Ω/Km] (0.00579 Ω)
- Reactancia: 0.093 [Ω/Km] (0.00279 Ω)

**Barra N° 3**

El circuito equivalente para calcular la corriente de cortocircuito trifásico de la barra N° 3 es el siguiente:

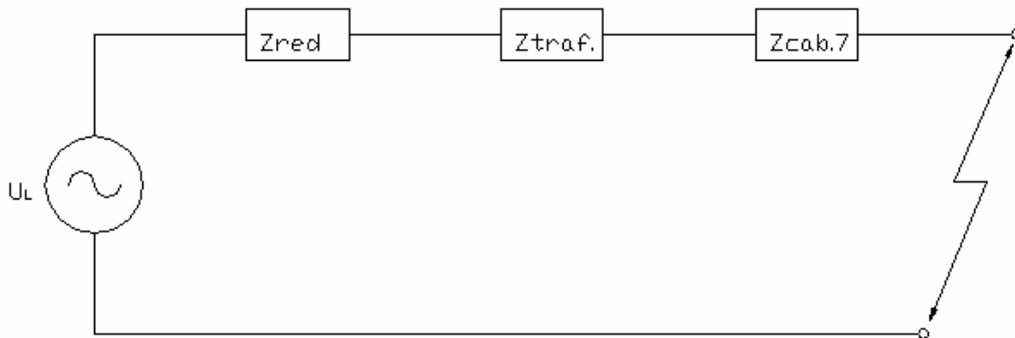


Fig. N° 14. Circuito equivalente.

$$Z = [(2.02 + j4.06) \times 10^{-4} + (0.0048 + j0.0152) + (4.59 + j2.73) \times 10^{-3}] \Omega$$

$$Z = (0.0095 + j0.0183) \Omega = 2.06 \times 10^{-2} \Omega$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Trifásica

$$I''_{K3p} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} = \frac{0.38KV}{\sqrt{3} \cdot 2.06 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K3p} = 10.65KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Bifásica

$$I''_{K2p} = \frac{U_N}{|Z_1| + |Z_2|} = \frac{0.38KV}{2 \cdot 2.06 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K2p} = 9.22KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Monofásico

$$Z_0 \text{ Cable N° 7} = (0.0183 + j 0.0098) \Omega$$

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{2 \cdot |Z_1| + |Z_0|} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(2 \cdot (0.0095 + j0.0183) + 0.9 \cdot (0.0048 + j0.0152) + (0.0183 + j0.0098)) \Omega} =$$



$$I_{K1p}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(0.0416 + j0.06)\Omega} \Rightarrow I_{K1p}'' = 9KA$$

### Factor Capa

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (0.0095/0.0183)} = 1.22$$

### Corriente de Impulso Trifásica

$$I_s = 1.22 \cdot \sqrt{2} \cdot 10.65KA = 18.37KA$$

### Corriente de Impulso Bifásica

$$I_s = 1.22 \cdot \sqrt{2} \cdot 9.22KA = 15.9KA$$

### Corriente de Impulso Monofásica

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (0.0416/0.06)} = 1.14$$

$$I_s = 1.14 \cdot \sqrt{2} \cdot 9KA = 14.5KA$$

### Barra N° 4

El circuito equivalente para calcular la corriente de cortocircuito trifásico de la barra N° 4 es el siguiente:

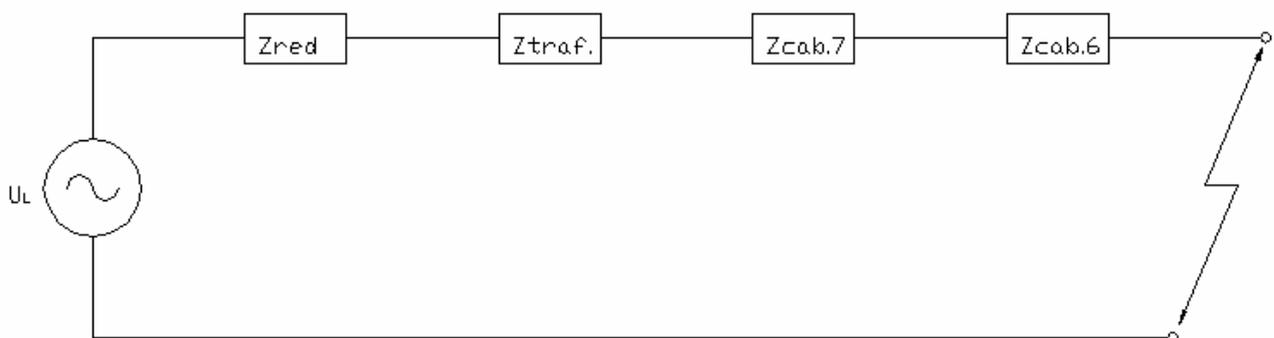


Fig. N° 15. Circuito equivalente.



$$Z = [(2.02 + j4.06) \times 10^{-4} + (0.0048 + j0.0152) + (4.59 + j2.73) \times 10^{-3} + (0.018 + j0.0035)] \Omega$$

$$Z = (2.759 + j2.183) \times 10^{-2} \Omega = 3.51 \times 10^{-2} \Omega$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Trifásica

$$I''_{K3p} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} = \frac{0.38KV}{\sqrt{3} \cdot 3.51 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K3p} = 6.25KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Bifásica

$$I''_{K2p} = \frac{U_N}{|Z_1| + |Z_2|} = \frac{0.38KV}{2 \cdot 3.51 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K2p} = 5.41KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Monofásico

$$Z_0 \text{ Cable N}^\circ 6 = (0.072 + j 0.0126) \Omega$$

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{2 \cdot |Z_1| + |Z_0|} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(2 \cdot (2.759 + j2.183) \times 10^{-2} + 0.9 \cdot (0.0048 + j0.0152) + (0.0183 + j0.0098) + (0.072 + j0.0126) \Omega)} =$$

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(0.149 + j0.079) \Omega} \Rightarrow I''_{K1p} = 3.89KA$$

### Factor Capa

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (0.02795 / 0.0283)} = 1.04$$



### Corriente de Impulso Trifásica

$$I_s = 1.04 \cdot \sqrt{2} \cdot 6.25 \text{ KA} = 9.19 \text{ KA}$$

### Corriente de Impulso Bifásica

$$I_s = 1.04 \cdot \sqrt{2} \cdot 5.41 \text{ KA} = 7.65 \text{ KA}$$

### Corriente de Impulso Monofásica

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (0.149/0.079)} = 1.025$$

$$I_s = 1.025 \cdot \sqrt{2} \cdot 3.89 \text{ KA} = 5.63 \text{ KA}$$

### Barra N° 5

El circuito equivalente para calcular la corriente de cortocircuito trifásico de la barra N° 5 es el siguiente:

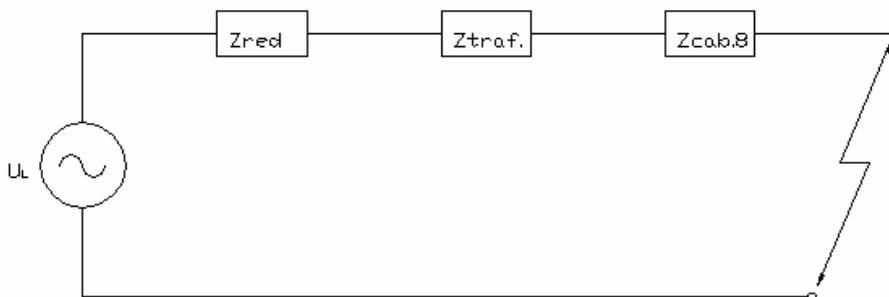


Fig. N° 15. Circuito equivalente.

$$Z = [(2.02 + j4.06) \times 10^{-4} + (0.0048 + j0.0152) + (5.79 + j2.79) \times 10^{-3}] \Omega$$

$$Z = (1.079 + j1.83) \times 10^{-2} \Omega = 2.13 \times 10^{-2} \Omega$$



### Corriente de Corriente de Cortocircuito Trifásica

$$I''_{K3p} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} = \frac{0.38KV}{\sqrt{3} \cdot 2.13 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K3p} = 10.30KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Bifásica

$$I''_{K2p} = \frac{U_N}{|Z_1| + |Z_2|} = \frac{0.38KV}{2 \cdot 2.13 \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K2p} = 8.92KA$$

### Corriente de Corriente de Cortocircuito Monofásico

$$Z_0 \text{ Cable N}^\circ 8 = (2.316 + j 1.01) \times 10^{-2} \Omega$$

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_N}{2 \cdot |Z_1| + |Z_0|} =$$
$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(2 \cdot (1.079 + j1.83) \times 10^{-2} + 0.9 \cdot (0.0048 + j0.0152) + (2.316 + j1.01) \times 10^{-2}) \Omega} =$$

$$I''_{K1p} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.38KV}{(4.906 + j6.038) \times 10^{-2} \Omega} \Rightarrow I''_{K1p} = 8.45KA$$

### Factor Capa

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (1.079/1.83)} = 1.184$$

### Corriente de Impulso Trifásica

$$I_s = 1.184 \cdot \sqrt{2} \cdot 10.3KA = 16.72KA$$



### Corriente de Impulso Bifásica

$$I_s = 1.184 \cdot \sqrt{2} \cdot 8.92 \text{ KA} = 14.93 \text{ KA}$$

### Corriente de Impulso Monofásica

$$\chi = 1,022 + 0,96899 \cdot e^{-3.0301 \cdot (4.906 / 6.038)} = 1.104$$

$$I_s = 1.104 \cdot \sqrt{2} \cdot 8.45 \text{ KA} = 13.19 \text{ KA}$$

## Análisis de resultados

Si analizamos los resultados obtenidos por el software y los calculados manualmente podemos observar que los valores obtenidos por software son más exactos debido a que se utilizaron la mayor cantidad de decimales posibles y solo se redondeo los resultados finales.

Otro aspecto a tener en cuenta es que utilizando el software se obtuvieron los resultados de una forma mucho más rápida que haciéndolos manualmente. Otro de las ventajas de utilizar el software es que si el usuario desea cambiar algún parámetro del esquema unifilar lo puede hacer sin ningún problema mientras que de la otra forma se tendrá que hacer de nuevos todos los cálculos lo que significa más tiempo y no asegura que los resultados obtenidos sean correctos.

## Diagrama de Flujo

A continuación se detalla el principio de funcionamiento del software mediante un diagrama de flujo en el cual se representa el algoritmo utilizado.



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**



**Facultad de Ingeniería**  
**Proyecto Final**



## Conclusiones

- Los resultados generados con este software han sido comparados con cálculos efectuados manualmente encontrándose resultados muy satisfactorios.
- El programa cuenta con diversas características tales como:
  - Personalización hecha en AutoCAD para el armado del diagrama Unifilar;
  - Relación directa entre AutoCAD y el Software mediante *Objetos*;
  - Esquema del diagrama Unifilar con características principales de los parámetros utilizados;
  - Mensajes de error;
  - Librerías de Cables y Motores;
  - Facilita el entendimiento de los parámetros calculados;
- Se obtuvo un programa con una alta velocidad de cálculos y precisión, características proporcionada por el empleo del Visual Basic 6.0.
- En líneas generales se puede afirmar que los objetivos planteados al inicio del proyecto final se cumplieron satisfactoriamente, obteniendo un software didáctico para poder calcular corrientes de cortocircuitos Trifásicas, Bifásicas y Monofásicas y también Corrientes de Impulso.



## **Bibliografía**

- Instalaciones Eléctricas Tomo I (Albert F. Spitta).
- Manual de las Instalaciones de Distribución de Energía Eléctrica (BBC Brown Boveri).
- Using Visual Basic 5 (Platinum Edition).
- Curso práctico de personalización y programación bajo AutoCAD.