



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
Instalaciones Eléctricas

**TAREA N° 2**

Alumno: Mugni, Juan Mauricio

Profesores: Ferrari, Carlos Eduardo

Freguglia, Francisco

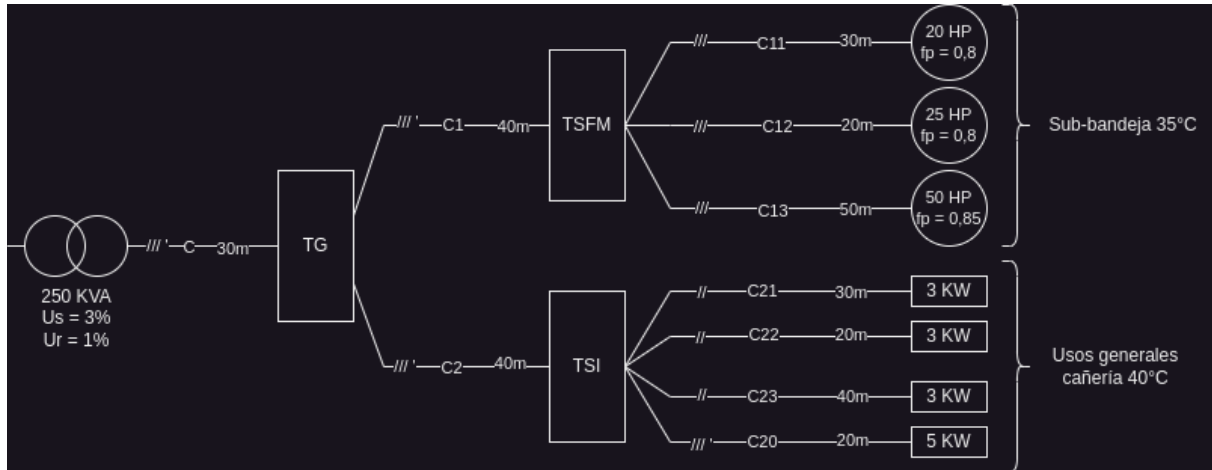
# Índice

Consigna.....	3
Explicación.....	4
Aclaraciones.....	7
Resolución.....	9
Cálculo de la sección de los conductores.....	9
Cálculo para el conductor C11.....	9
Cálculo para el conductor C12.....	10
Cálculo para el conductor C13.....	11
Cálculo para el conductor C21.....	12
Cálculo para el conductor C22.....	13
Cálculo para el conductor C23.....	14
Cálculo para el conductor C24.....	15
Cálculo para el conductor C1.....	16
Cálculo para el conductor C2.....	17
Cálculo para el conductor C.....	18
Caída de tensión total y caída de tensión por conductor.....	19
Cálculo de la corriente de cortocircuito.....	20
Corrección del factor de potencia.....	22
Compensación individual.....	22
En la última fila de la tabla anterior se indica la potencia reactiva que se necesita instalar para cada carga.....	22
Compensación en grupo.....	22
En la última fila de la tabla anterior se indica la potencia reactiva que se necesita instalar para cada tablero.....	23
Compensación centralizada.....	23
Agradecimiento.....	24

## Consigna

En este trabajo se pide realizar el cálculo de la sección de los conductores, verificando que la caída total de tensión no sea mayor al 5% y analizar las corrientes de cortocircuito. Además, realizar la corrección del factor de potencia.

El sistema utilizado a lo largo del trabajo es el que se encuentra representado en el siguiente diagrama unifilar:



Si bien no está dibujado escrito en la imagen, los conductores  $C$ ,  $C_1$  y  $C_2$  son calculados para trabajar a  $45^\circ C$  de temperatura ambiente. Y el único conductor directamente enterrado es  $C$ ; para  $C_1$  y  $C_2$  considerar que están empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire).

## Explicación

Empezando por los conductores más cercanos a la carga, se calcula la corriente nominal que circulará por este. Si la carga es un motor, se debe convertir los caballos de fuerza (HP – Horse Power), a potencia. Para hacer este pasaje debemos recordar la siguiente relación:

$$1[HP]=745.699872[W]\approx 746[W]$$

Si estamos en presencia de alimentación trifásica se utilizará la siguiente fórmula:

$$P=\sqrt{3} V I \cos \phi$$

En cambio, cuando trabajamos con monofásica debemos usar:

$$P=V I \cos \phi$$

En donde:

$P$  es la potencia necesaria para la carga y debe estar en  $[W]$  .

$V$  es la tensión de la carga y debe estar en  $[V]$  . Más adelante se la define como  $U_f$  (tensión de fase).

$I$  es la corriente de la carga y debe estar en  $[A]$  .

$\cos \phi = fp$  es el factor de potencia del equipo, y es adimensional.

Con estas fórmulas despejaríamos la corriente, obteniendo la corriente nominal de cada conductor. A esta corriente calculada las dividimos por los factores de corrección correspondientes (temperatura ambiente según el tipo de cable, temperatura del terreno según el tipo de cable, disposición de los circuitos o cables multiconductores, distancia entre cables, distancia entre conductos, profundidad del cable en el terreno, tipo de terreno, etc.), así obtenemos la corriente máxima que va a circular por el conductor.

Conociendo la corriente ya corregida, el método de transporte y teniendo en cuenta la forma de la tensión de alimentación (monofásica, trifásica), se ingresa a la tabla correspondiente para obtener el nivel de sección nominal.

Con el nivel de sección del conductor a utilizar y considerando que la tensión de alimentación puede ser unipolar (monofásica), tripolar (trifásica sin neutro) o tetrapolar (trifásica con neutro), se obtiene la resistencia eléctrica del conductor y la reactancia eléctrica para 50 Hz del conductor; ambas se miden en (se mide en  $\frac{\Omega}{m}$  ).

Sabiendo los valores de resistencia y reactancia, se calcula la impedancia para los 50 Hz :

$$Z=R \cos (\phi)+X \operatorname{sen}(\phi)$$

Donde:

$R$  es la resistencia eléctrica del conductor, se mide en  $[\frac{\Omega}{m}]$  .

$X$  es la reactancia eléctrica del conductor, se mide en  $[\frac{\Omega}{m}]$  .

$\cos \phi = fp$  es el factor de potencia del equipo, y es adimensional.

Con estos valores podemos calcular la caída de tensión en el cable.

Para sistemas monofásicos la caída de tensión es:

$$\Delta em=\frac{2 C P I Z}{U_f \cos (\phi)}$$

$$\Delta em[\%]=\frac{100 \Delta em}{U_f}$$

Para sistemas trifásicos la caída de tensión es:

$$\Delta et=\frac{C P I Z}{U_l \cos (\phi)}$$

$$\Delta et[\%]=\frac{100 \Delta et}{U_l}$$

Donde:

$C$  es el coeficiente de cálculo del conductor, se los consideró igual a 1 .

$P$  es la potencia necesaria para la carga y debe estar en  $[W]$  .

$I$  es el largo del conductor, se mide en  $[m]$  .

$Z$  es la impedancia antes calculada, estará en  $\left[\frac{\Omega}{m}\right]$ .

$\cos \phi = fp$  es el factor de potencia del equipo, y es adimensional.

$U_f$  es la tensión de fase, para sistemas monofásicos será de  $220[V]$  y para sistemas trifásicos de  $380[V]$ .

$U_l$  es la tensión de línea. Para sistemas monofásicos será  $U_f = U_l$  y para sistemas trifásicos con conexión estrella  $U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}}$ , y si la conexión es en triángulo  $U_f = U_l$ .

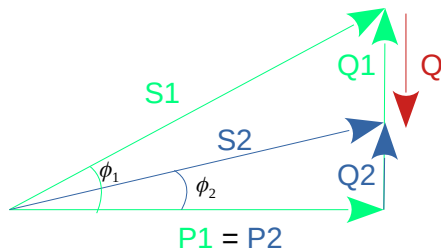
Conociendo la caída de tensión y la caída porcentual podemos elegir la sección que corresponda teniendo en cuenta que no debe caer más de un  $5\%$  la tensión hasta llegar a la carga.

Una vez calculada la caída de tensión en cada conductor del circuito, se procede a sumar todos los valores correspondientes a las caídas individuales. Y podemos verificar que la caída de tensión total sea menor o igual al límite permitido del  $5\%$ .

Luego calculamos la corriente de cortocircuito del circuito ( $I_{cc}$ ) para verificar que sea menor a la corriente de cortocircuito admisible de cada conductor. En nuestro caso, se va a tomar como tiempo admisible un segundo.

Para obtener  $I_{cc}$  hay que obtener la impedancia de cada conductor y la del transformador, tanto la parte resistiva como reactiva de cada uno. Con estos valores calculamos la impedancia total  $Z_{total}$  y podremos saber la corriente de cortocircuito de todo el circuito, la cual será comparada con la corriente de cortocircuito de cada conductor.

Para la corrección del factor de potencia, las ecuaciones utilizadas parten del siguiente razonamiento:



Del diagrama anterior podemos deducir:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad \phi = \operatorname{tg}\left(\frac{P}{Q}\right) \quad Q = Q_1 - Q_2$$

Como sabemos la potencia activa es:

$$P = V I \cos \phi [W]$$

y la reactiva:

$$Q = V I \operatorname{sen} \phi [VAR]$$

entonces podemos reescribir la ecuación de la potencia reactiva como:

$$Q = Q_1 - Q_2 = V I \operatorname{sen} \phi_1 - V I \operatorname{sen} \phi_2$$

teniendo en cuenta que la potencia activa se la puede expresar como:

$$V I = \frac{P}{\cos \phi}$$

Nos queda:

$$Q = \frac{P}{\cos \phi_1} \operatorname{sen} \phi_1 - \frac{P}{\cos \phi_2} \operatorname{sen} \phi_2$$

sacando factor común  $P$  y por relación trigonométrica, obtenemos:

$$Q = P (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2)$$

En donde:

$P$  es la potencia activa, se mide en  $[W]$ .

$Q$  es la potencia reactiva que se necesita instalar para obtener el  $\cos \phi$  deseado, se mide en  $[VAR]$ .

$\phi_1$  es el ángulo actual.

$\phi_2$  es el ángulo deseado.

De esta manera, conociendo la potencia activa total, el ángulo actual y el deseado, se calcula la potencia reactiva que se necesita instalar para corregir el factor de potencia de cada carga.

El procedimiento anterior es para una compensación individual, si pretendemos realizar una compensación por grupo, primero calculamos la potencia aparente de cada carga:

$$S = \frac{P}{\cos \phi}$$

y luego la potencia reactiva:

$$Q = S \sin(\arccos \phi)$$

Sumamos las potencias activas y las reactivas para cada tablero, y podemos obtener la potencia aparente para cada uno:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Y con estos valores calculamos directamente:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

de cada uno de los tableros.

Como conocemos la potencia activa de cada tablero y tenemos el  $\cos \phi$  actual podemos calcular la potencia reactiva que se necesita instalar en cada tablero para corregir el factor de potencia de cada grupo. Para ello utilizamos la misma fórmula:

$$Q = P (tg \phi_1 - tg \phi_2)$$

Y para una compensación centralizada, se suman las potencias activas y reactivas de todos los grupos, obtenemos la potencia aparente total, y calculamos el  $\cos \phi$  actual total. Con estos datos, ya podemos calcular la potencia reactiva que se necesita instalar en el tablero general para corregir el factor de potencia de todo el sistema. Tener en cuenta que es la misma lógica y/o procedimientos que para el caso de la compensación por grupo.

Podemos pretender calcular la capacidad del capacitor, para ello deducimos la siguiente expresión, partiendo de la corriente que circula por el capacitor:

$$I_c = \frac{U}{X_c} = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = U \omega C = U 2 \pi f C$$

Como:

$$Q = U I_c = U U 2 \pi f C = U^2 2 \pi f C$$

Despejando  $C$ , nos queda:

$$C = \frac{Q}{U^2 2 \pi f}$$

## Aclaraciones

A continuación se realizan algunas consideraciones importantes sobre las simplificaciones y resolución de la actividad:

1. Para este caso las cargas trifásicas de este problema, se consideran todas conectadas en estrella. Es decir,  $U_l = \sqrt{3} U_f$ . En caso contrario, bastaría con cambiar  $U_l = U_f$ .
2. El conductor utilizado en todo el trabajo será el Sintenax Valio W-K / W-R de cobre. Cuya primer hoja de especificaciones es la siguiente:

### Baja Tensión

0,6 / 1,1 kV

### VV-K / VV-R



NORMAS DE REFERENCIA ➤

DESCRIPCION ➤

### Instalaciones Fijas

## SINTENAX VALIO

**IRAM 2178**

> **CONDUCTOR**  
**Metal:** Cobre electrolítico ó aluminio grado eléctrico según IRAM NM 280.  
**Forma:** redonda flexible o compacta y sectorial, según corresponda.



**Flexibilidad:**  
- Conductores de cobre :  
Unipolares : Cuerdas flexibles Clase 5 hasta 240 mm<sup>2</sup> e inclusive y cuerdas compactas Clase 2 para secciones superiores. A pedido las cuerdas Clase 5 pueden reemplazarse por cuerdas Clase 2 (compactas o no según corresponda).  
Multipolares : Cuerdas flexible Clase 5 hasta 35 mm<sup>2</sup> y Clase 2 para secciones superiores , siendo circulares compactas hasta 50 mm<sup>2</sup> y sectoriales para secciones nominales superiores.  
- Conductores de aluminio :  
Unipolares : Cuerdas circulares Clase 2 , normales o compactas según corresponda.  
Multipolares : Cuerdas circulares Clase 2 normales o compactas según corresponda hasta 50mm<sup>2</sup> y sectoriales para secciones nominales superiores.

**Temperatura máxima en el conductor:** 70° C en servicio continuo, 160° C en cortocircuito.



Norma de Fabricación

Tensión nominal

Temperatura de servicio

Cuerdas flexibles hasta 35 mm<sup>2</sup>

No propagación de la llama

No propagación del incendio

Resistencia a agentes químicos

Sello IRAM

Sello de Seguridad Eléctrica

Marcación secuencial de longitud

CONDICIONES DE EMPLEO



En bandejas

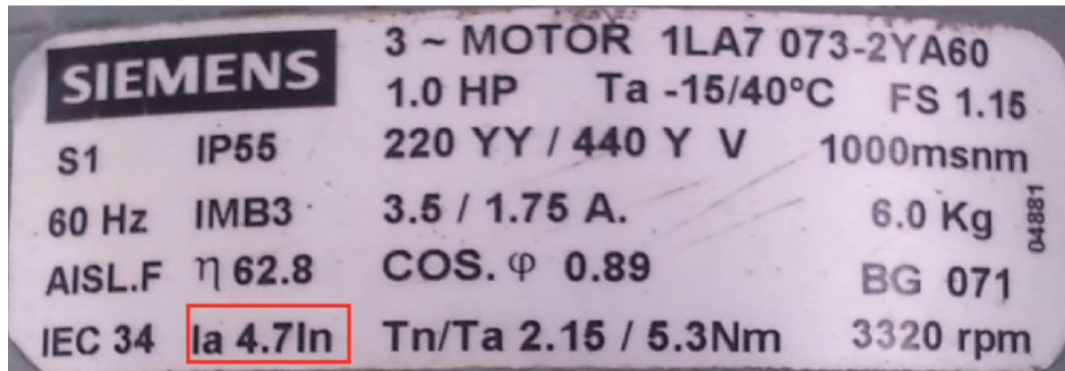
Directamente enterrado

Enterrado en canaletas

Enterrado en cañerías



3. Suponemos que el consumo de los motores durante el arranque es tal que no es necesario considerarlo. En caso de ser necesario deberíamos ver la placa del motor.  
 Por ejemplo, en la siguiente imagen sobre la placa de un motor nos indica que la corriente de arranque de este motor será 4,7 veces mayor que la corriente nominal.



## CORRIENTE DE ARRANQUE

4. Al realizar el cálculo de la caída de tensión, el parámetro  $C$  (Coeficiente de cálculo del conductor) es uno.
5. El factor de potencia para el calculo de los conductores de las cargas de usos generales, es decir, aquellas que en el diagrama unifilar no aparecen como motores, se lo consideró igual a  $0.7$ . Por lo investigado un valor entre  $0.9$  y  $0.7$  es razonable.
6. Se toma como tiempo de cortocircuito un segundo.
7. Tener en cuenta que el transformador del inicio es triángulo-estrella.
8. Los detalles de cada uno de los conductores se encuentran indicados al momento de calcularlos.
9. También se aclara que la longitud indicada de los conductores es considerando la ida y vuelta, es decir, no es la distancia.
10. Para el calculo de la corrección del factor de potencia, se considera que estamos en presencia de una onda sinusoidal pura (sin componentes armónicas). Entonces:

$$\text{Factor de Potencia} = \cos \phi$$



## Resolución

### Cálculo de la sección de los conductores

Cálculo para el conductor C11

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 30[m]
- Factor de potencia: 0,8
- Potencia: 20[HP]≈14914[W]
- Tipo de circuito: Trifásica sin neutro
- Modo de transporte: por aire en bandejas perforadas
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 35°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

Teniendo en cuenta las etapas, el cálculo de corriente de carga es:

$$I_n = \frac{Potencia}{\sqrt{3} \cdot Voltaje \cdot \cos \phi} = \frac{14914[W]}{\sqrt{3} \cdot 380[V] \cdot 0,8} = 28,32[A]$$

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.05
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.049

$$I_c = \frac{I_n}{K_{total}} = \frac{28,32[A]}{1,049} = 27,006[A]$$

Procedemos a seleccionar la sección del cable. Teniendo en cuenta el catálogo, los cables de cobre Sintenax Valio a partir de la sección 4[mm<sup>2</sup>] toleran la corriente calculada. Analizaremos dicha sección y las próximas tres que ofrece el fabricante para ver si verifican la caída de tensión tolerable en la próxima etapa.

Sección del cable Sintenax Valio [mm <sup>2</sup> ]	4	6	10	16
Resistencia eléctrica [ohm/km]	5.92	3.95	2.29	1.45
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.0991	0.0901	0.086	0.0813
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	4.79546	3.21406	1.8836	1.20878
Caída de tensión [V]	4.0748	2.7311	1.6006	1.0271
Caída porcentual [%]	1.0723	0.7187	0.4212	0.2703

Como la caída de tensión de todo el circuito hasta la carga no puede superar el 5% y la caída del último tramo a la carga no puede superar el 3%, vamos a tomar la sección de 4[mm<sup>2</sup>] ya que presenta una caída del 1%. Si luego vemos que estamos cerca de estos límites pasamos a una sección mayor.

Si bien en un principio se tomaron 4[mm<sup>2</sup>], la caída de tensión no daba menor al 5%, entonces se seleccionó 10[mm<sup>2</sup>].

## Cálculo para el conductor C12

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 20[m]
- Factor de potencia: 0,8
- Potencia: 25[HP]≈18642[w]
- Tipo de circuito: Trifásica sin neutro
- Modo de transporte: por aire en bandejas perforadas
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 35°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	35.41
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.05
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.049

Corriente calculada	33.758
---------------------	--------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	6	10	16	25
Resistencia eléctrica [ohm/km]	3.95	2.29	1.45	0.93
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.09	0.09	0.08	0.08
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	3.21	1.88	1.21	0.79
Caída de tensión [V]	2.2759	1.3338	0.8559	0.5617
Caída porcentual [%]	0.5989	0.3510	0.2252	0.1478

En este caso una sección de 6[mm<sup>2</sup>] nos asegura una caída de tensión menor al 1% , por lo tanto no se pasara a una sección de mayor tamaño.

### Cálculo para el conductor C13

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 50[m]
- Factor de potencia: 0,85
- Potencia: 50[HP]≈18642[w]
- Tipo de circuito: Trifásica sin neutro
- Modo de transporte: por aire en bandejas perforadas
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 35°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	66.65
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.05
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.049

Corriente calculada	63.544
---------------------	--------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	16	25	35	50
Resistencia eléctrica [ohm/km]	1.45	0.93	0.66	0.46
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.08	0.08	0.08	0.08
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	1.28	0.83	0.6	0.44
Caída de tensión [V]	4.2497	2.7796	2.0113	1.4506
Caída porcentual [%]	1.1184	0.7315	0.5293	0.3817

En este caso una sección de 16[mm<sup>2</sup>] nos asegura una caída de tensión cercana al 1% , por lo tanto no se pasara a una sección de mayor tamaño.

En un principio se tomaron 16[mm<sup>2</sup>] y la caída de tensión no daba menor al 5% , entonces se seleccionó 35[mm<sup>2</sup>] .

## Cálculo para el conductor C21

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 30[m]
- Factor de potencia: 0.7
- Potencia: 3000[w]
- Tipo de circuito: Monofásica
- Modo de transporte: Empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire)
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 40°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 220[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	19.48
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.00
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.000
Corriente calculada	19.481

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	4	6	10	16
Resistencia eléctrica [ohm/km]	5.92	3.95	2.29	1.45
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.19	0.18	0.17	0.16
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	4.28	2.89	1.72	1.13
Caída de tensión [V]	5.0014	3.3821	2.0155	1.3216
Caída porcentual [%]	2.2734	0.8900	0.5304	0.3478

En este caso una sección de 4[mm<sup>2</sup>] nos asegura una caída de tensión cercana al 2% , cumple con la norma, ya que no presenta una caída mayor al 3% para la salida más lejana que alimenta a la carga.

En un principio se tomaron 4[mm<sup>2</sup>] y la caída de tensión no daba menor al 5% , entonces se seleccionó 10[mm<sup>2</sup>] .

## Cálculo para el conductor C22

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 20[m]
- Factor de potencia: 0.7
- Potencia: 3000[w]
- Tipo de circuito: Monofásica
- Modo de transporte: Empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire)
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 40°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 220[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	19.48
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.00
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.000

Corriente calculada	19.481
---------------------	--------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	4	6	10	16
Resistencia eléctrica [ohm/km]	5.92	3.95	2.29	1.45
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.19	0.18	0.17	0.16
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	4.28	2.89	1.72	1.13
Caída de tensión [V]	3.3343	2.2547	1.3437	0.8811
Caída porcentual [%]	1.5156	0.5933	0.3536	0.2319

En este caso una sección de 4[mm<sup>2</sup>] nos asegura una caída de tensión del 1.5% , por lo tanto no se pasara a una sección de mayor tamaño.

En un principio se tomaron 4[mm<sup>2</sup>] y la caída de tensión no daba menor al 5% , entonces se seleccionó 6[mm<sup>2</sup>] .

## Cálculo para el conductor C23

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 40[m]
- Factor de potencia: 0.7
- Potencia: 3000[w]
- Tipo de circuito: Monofásica
- Modo de transporte: Empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire)
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 40°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 220[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	19.48
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.00
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.000

Corriente calculada	19.481
---------------------	--------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	4	6	10	16
Resistencia eléctrica [ohm/km]	5.92	3.95	2.29	1.45
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.19	0.18	0.17	0.16
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	4.28	2.89	1.72	1.13
Caída de tensión [V]	6.6685	4.5094	2.6874	1.7621
Caída porcentual [%]	3.0311	1.1867	0.7072	0.4637

En este caso una sección de 6[mm<sup>2</sup>] nos asegura una caída de tensión menor al 3% .

En un principio se tomaron 6[mm<sup>2</sup>] y la caída de tensión no daba menor al 5% , entonces se seleccionó 10[mm<sup>2</sup>] .

## Cálculo para el conductor C24

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 20[m]
- Factor de potencia: 0.7
- Potencia: 5000[w]
- Tipo de circuito: Trifásico con neutro
- Modo de transporte: Empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire)
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 40°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	10.85
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	1.00
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	1.000

Corriente calculada	10.852
---------------------	--------

Seleccionamos la sección del cable:

	1.5	2.5	4	6
Sección del cable Sintenax Valio [mm]	15.9	9.55	5.92	3.95
Resistencia eléctrica [ohm/km]	0.11	0.1	0.1	0.09
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	11.21	6.76	4.21	2.83
Caída de tensión [V]	2.4325	1.4665	0.9148	0.6141
Caída porcentual [%]	0.6401	0.3859	0.2407	0.1616

En este caso una sección de 1.5[mm<sup>2</sup>] nos asegura una caída de tensión menor al 1% , pero también se debe tener en cuenta el Reglamento de Instalaciones Eléctricas, en donde en el capítulo 5 – Conductores se menciona que un conductor no puede tener una sección menor a 4[mm<sup>2</sup>] . Por lo tanto, se eligen los 4[mm<sup>2</sup>] .

## Cálculo para el conductor C1

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 40[m]
- Factor de potencia: 0.85
- Potencia:  $20[HP] + 25[HP] + 50[HP] = 95[HP] \approx 70841[W]$
- Tipo de circuito: Trifásico con neutro
- Modo de transporte: Empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire)
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 45°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	126.63
-----------------------------	--------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	0.95
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	0.949

Corriente calculada	133.476
---------------------	---------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	95	120	150	185
Resistencia eléctrica [ohm/km]	0.23	0.18	0.15	0.12
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.07	0.07	0.07	0.07
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	0.24	0.19	0.17	0.14
Caída de tensión [V]	1.1944	0.9867	0.8379	0.7260
Caída porcentual [%]	0.3143	0.2597	0.2205	0.1910

En este caso, tomamos una sección de 95[mm<sup>2</sup>].



## Cálculo para el conductor C2

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 40[m]
- Factor de potencia: 0.85
- Potencia:  $3000[W] + 3000[W] + 3000[W] + 5000[W] = 14000[W]$
- Tipo de circuito: Trifásico con neutro
- Modo de transporte: Empotrados, embutidos (dentro de un tubo, canal o conducto o grapados sobre una superficie al aire)
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire: 45°C
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	25.02
-----------------------------	-------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	0.95
K por la resistividad del terreno	1.00
K por la temperatura del terreno	1.00
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	0.949

Corriente calculada	26.378
---------------------	--------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	6	10	16	25
Resistencia eléctrica [ohm/km]	3.95	2.29	1.45	0.93
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.09	0.09	0.08	0.08
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	3.4	1.99	1.28	0.83
Caída de tensión [V]	3.4083	1.9938	1.2766	0.8350
Caída porcentual [%]	0.8969	0.5247	0.3359	0.2197

En este caso, seleccionamos una sección de 6[mm<sup>2</sup>].

En un principio se tomaron 6[mm<sup>2</sup>] y la caída de tensión no daba menor al 5%, entonces se seleccionó 10[mm<sup>2</sup>].

## Cálculo para el conductor C

Teniendo las características del conductor:

- Largo total de conductor: 30[m]
- Factor de potencia: 0.8
- Potencia:  $70841[W] + 14000[W] = 84841[W]$
- Tipo de circuito: Trifásico con neutro
- Modo de transporte: Cables directamente enterrados
- Material de revestimiento: Tipo XLPE / EPR (termoestable)
- Temperatura del aire:  $45^{\circ}C$
- Temperatura del terreno:  $30^{\circ}C$
- Profundidad: 0.7[m]
- Tipo de terreno: tierra seca
- Número de circuitos: 1
- Tensión de fase: 380[V]

La corriente de carga es:

Corriente para la carga [A]	161.13
-----------------------------	--------

El cálculo de los factores de corrección y corriente calculada es:

Factores de corrección de la corriente	
K por la temperatura ambiente	0.95
K por la resistividad del terreno	0.85
K por la temperatura del terreno	0.97
K por el agrupamiento	1.00
K por la profundidad del terreno	1.00
K total	0.782

Corriente calculada	205.996
---------------------	---------

Seleccionamos la sección del cable:

Sección del cable Sintenax Valio [mm]	70	95	120	150
Resistencia eléctrica [ohm/km]	0.32	0.23	0.18	0.15
Reactancia eléctrica en 50 Hz [ohm/km]	0.07	0.07	0.07	0.07
Impedancia en 50 Hz [ohm/km]	0.3	0.23	0.19	0.16
Caída de tensión [V]	1.4548	1.1098	0.9230	0.7889
Caída porcentual [%]	0.3828	0.2920	0.2429	0.2076

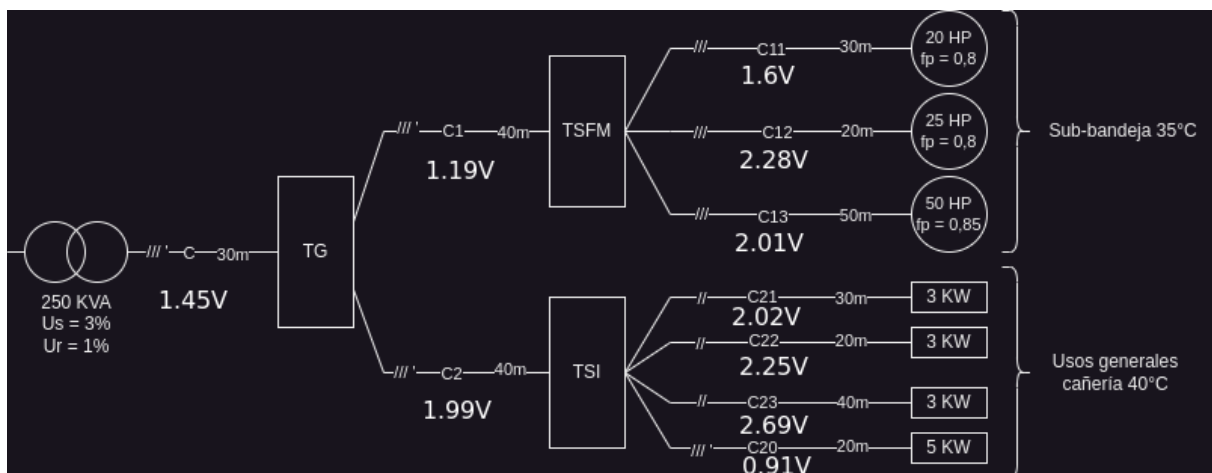
En este caso, elegimos una sección de 70[mm<sup>2</sup>].

## Caída de tensión total y caída de tensión por conductor

Procedemos a verificar la caída de tensión por conductor. Teniendo en cuenta que hasta la carga no puede haber una caída mayor al 5% y que cada uno de los conductores no puede superar el 3%, realizamos la siguiente tabla donde se puede visualizar la caída de tensión de cada conductor, la caída de tensión total del circuito y el porcentaje de la caída de tensión total:

Conductores	Caída de tensión por conductor [V]
Cable C11	1.6
Cable C12	2.28
Cable C13	2.01
Cable C21	2.02
Cable C22	2.25
Cable C23	2.69
Cable C24	0.91
Cable C1	1.19
Cable C2	1.99
Cable C	1.45
Caída de tensión total [V]	18.4
Caída porcentual total [%]	4.84

Como podemos ver la caída de tensión total es menor al 5%, en la siguiente imagen podemos ver la caída de tensión en cada conductor:



## Cálculo de la corriente de cortocircuito

Se calcula la corriente de cortocircuito de todo el circuito para verificar que sea menor a la corriente de cortocircuito admisible de cada conductor.

Las corrientes de cortocircuito de cada conductor para un tiempo de cortocircuito de un segundo son:

Conductores	Corriente de cortocircuito [A]
Cable C11	1414.1
Cable C12	848.46
Cable C13	4944.44
Cable C21	1414.1
Cable C22	848.46
Cable C23	1414.1
Cable C24	565.64
Cable C1	13400
Cable C2	1414.1
Cable C	9974.07

Ahora, se obtiene la corriente de cortocircuito de todo el circuito. Para ello:

$$Z_{trafo} = \frac{U_k U_n^2}{100 P_{trafo}} \quad R_{trafo} = \frac{U_r U_n^2}{100 P_{trafo}} \quad X_{trafo} = \sqrt{Z_{trafo}^2 - R_{trafo}^2}$$

En donde:

$U_k$  es la impedancia de cortocircuito en porcentaje.

$U_n$  es la tensión nominal, se mide en [V] . En este caso son 380[V] .

$U_r$  es la resistencia de cortocircuito en porcentaje.

$P_{trafo}$  es la potencia nominal, se mide en [VA] .

Con los datos del circuito, la resistencia y reactancia del transformador es:

Uk Impedancia del transformador	3
Ur Resistencia del transformador	1
Potencia del transformador [KVA]	250
Tiempo de cortocircuito [S]	1
Impedancia del tranformador	0.02
Resistencia del transformador [ohm]	0.01
Reactancia del transformador [ohm]	0.02

$$R_{trafo} = 0.005776 [\Omega] \quad X_{trafo} = 0.016337 [\Omega]$$

Con dichos datos, podemos calcular la impedancia del circuito sumando la resistencia y reactancia del transformador con las resistencias y reactancias de los conductores, dando como resultado:

$$R_{total} = R_{trafo} + R_{conductores}$$

$$X_{total} = X_{trafo} + X_{conductores}$$

Resistencia total contando el transformador [ohm]	Reactancia total contando el transformador [ohm]
0.65458	0.05072

Es necesario aclarar que se multiplicó cada resistencia y reactancia de los conductores por su distancia en kilómetros, de esta manera nos queda expresado en ohm.

Ahora calculamos la impedancia equivalente de todo el circuito:

$$Z_{total} = \sqrt{(R_{total}^2 + X_{total}^2)}$$

Impedancia total [ohm]

0.656537853

Finalmente utilizando dicha impedancia podemos calcular cual va a ser la corriente de cortocircuito del circuito:

$$I_{cc} = \frac{V}{Z_{total} \sqrt{3}}$$

Corriente de cortocircuito del circuito [A]

351.754443963711

Viendo la tabla de corriente de cortocircuito para cada uno de los conductores comparada a la de todo el circuito, vemos que todas pueden tolerar una corriente de cortocircuito de 352[A] durante un segundo.

## Corrección del factor de potencia

Todas las cargas del circuito descrito presentan un factor de potencia inferior al nivel recomendado,  $\cos \phi < 0.9$ . Para corregir esta situación, se propone la adición de un banco de capacitores que ofrezca la potencia reactiva necesaria para compensar los efectos inductivos de las cargas.

Existen tres tipos de compensación según la ubicación de los capacitores:

1. Compensación individual: se coloca en un capacitor sobre cada una de las cargas.
2. Compensación por grupo: se instalan capacitores en el tablero seccional para agrupar la compensación.
3. Compensación centralizada: se conectan los capacitores al tablero general, permitiendo un control automático.

En este informe se presentarán los cálculos de las cargas reactivas necesaria para cada uno de estos tres casos.

### Compensación individual

Para esta compensación utilizaremos la siguiente fórmula con el objetivo de determinar la carga reactiva a conectar para obtener un factor de potencia de 0.9.

$$Q_{comp} = P (tg \phi_{actual} - tg \phi_{deseado})$$

en donde:

$P$  es la potencia activa de cada carga.

$\phi$  es el ángulo actual y el deseado.

En la siguiente tabla se pueden ver los valores de potencia reactiva capacitiva necesaria para compensar el factor de potencia de cada carga a un valor de 0.9.

	Cable						
	Cable C11	Cable C12	Cable C13	Cable 21	Cable 22	Cable 23	Cable 24
Potencia Activa [W]	14914	18642.5	37285	3000	3000	3000	5000
cos fi actual	0.8	0.8	0.85	0.7	0.7	0.7	0.7
cos fi deseado	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Potencia Reactiva [VAR]	3962.32	4952.90	5049.22	1607.65	1607.65	1607.65	2679.41

En la última fila de la tabla anterior se indica la potencia reactiva que se necesita instalar para cada carga.

### Compensación en grupo

Para realizar la compensación por grupo en un tablero seccional, es necesario conocer la potencia reactiva y activa de todas las cargas conectadas a dicho tablero, de esa manera se obtiene el factor de potencia del grupo. Para calcularlo se utilizaron las siguiente fórmulas:

$$S = \frac{P}{\cos \phi}$$

$$Q = S \sin(\arccos \phi)$$

	Cable						
	Cable C11	Cable C12	Cable C13	Cable 21	Cable 22	Cable 23	Cable 24
Potencia Activa [W]	14914	18642.5	37285	3000	3000	3000	5000
cos fi actual	0.8	0.8	0.85	0.7	0.7	0.7	0.7
Potencia Aparente [VA]	18642.50	23303.13	43864.71	4285.71	4285.71	4285.71	7142.86
Potencia Reactiva [VAR]	11185.50	13981.88	23107.17	3060.61	3060.61	3060.61	5101.02

sumando todas las potencias activas por un lado, y todas las potencias reactivas por el otro, se puede calcular el valor de la potencia aparente y el  $\cos \phi$  de cada tablero.

	Tablero seccional	Tablero seccional
Potencia Activa [W]	70841.5	14000
Potencia Reactiva [VAR]	48274.54	14282.86
Potencia Aparente [VA]	85726.01	20000.00
cos fi actual	0.83	0.70

Una vez obtenidas las potencias y los  $\cos \phi$ , se realizaron los cálculos de manera análoga para el caso de los realizados en la compensación individual. Aquí se busca llevar el factor de potencia de cada tablero a 0.95, y se utiliza la siguiente fórmula nuevamente:

$$Q_{comp} = P (tg \phi_{actual} - tg \phi_{deseado})$$

Dando como resultado:

	Tablero seccional	Tablero seccional
cos fi deseado	0.95	0.95
Potencia Reactiva [VAR]	24990.07	9681.28

En la última fila de la tabla anterior se indica la potencia reactiva que se necesita instalar para cada tablero.

#### Compensación centralizada

Para esta compensación basta con sumar los valores de la potencia activa y reactiva de los tablero seccionales, y realizar un análisis similar al anterior para lograr un factor de potencia de 0.95:

	Tablero seccional	Tablero seccional	Tablero general
Potencia Activa [W]	70841.5	14000	84841.5
Potencia Reactiva [VAR]	48274.54	14282.86	62557.40
Potencia Aparente [VA]	85726.01	20000.00	105411.14
Cos fi	0.83	0.70	0.80

Con estos datos y aplicando nuevamente la siguiente fórmula:

$$Q_{comp} = P (tg \phi_{actual} - tg \phi_{deseado})$$

se obtiene la potencia reactiva que se necesita instalar en el tablero general para corregir el factor de potencia para un  $\cos \phi$  dado:

	Tablero general
Valor deseado	0.95
Potencia Reactiva [VAR]	34671.35

## Agradecimiento

El software utilizado para llevar a cabo la elaboración de la tabla fue Microsoft Excel y LibreOffice Calc. Estas herramientas permitieron organizar los datos de manera más eficiente y clara. La tabla utilizada para realizar este trabajo de manera más ordenada se encuentra en el siguiente [enlace](#). Es importante resaltar que esta idea surgió de Bonfils Matías, un compañero que se encuentra cursando la misma materia.