

2013

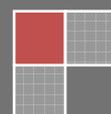
*Práctica Profesional Supervisada*

## Subestación Transformadora Duhau

Cargill S.A.C.I – Trenque Lauquen – Bs. As

Alejandro M. Hazelhoff

Facultad de Ingeniería - UNLPam





FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## Práctica Profesional Supervisada

Subestación Transformadora

Planta de Acopio

Ubicación:

Estación Duhau, Partido de Trenque Lauquen.

Tutores:

Ing. Daniel Mandrile – Facultad de Ingeniería.

Javier Basilotta – Cargill S.A.C.I.

Autor:

Alejandro M. Hazelhoff



## Contenido

<b>MEMORIA DESCRIPTIVA</b> .....	<b>1</b>
<b>MEMORIA TÉCNICA</b> .....	<b>3</b>
1. LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN .....	3
1.1. Soporte Sostén.....	4
1.2. Soporte Terminal .....	5
1.3. Tabla de tendido.....	7
1.4. Planimetría .....	7
1.5. Caída de tensión en media tensión (MT).....	7
2. POTENCIA INSTALADA .....	8
3. CONTRATACIÓN DEL SUMINISTRO .....	9
4. PUESTAS A TIERRA (P.A.T).....	10
4.1. Esquema de conexión a tierra.....	10
4.2. Puesta a tierra de servicio.....	10
4.3. Puesta a tierra de protección del cerco perimetral.....	10
4.4. Puestas a tierra de protección de la planta .....	11
4.5. Medición e inspección de las puestas a tierra .....	11
5. SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA (SET) .....	12
5.1. Características generales.....	12
5.2. Ubicación .....	12
5.3. Potencia nominal.....	12
5.4. Obra Civil .....	13
5.5. Elementos de Maniobra y Protección en Media Tensión.....	14
5.6. Elementos de Maniobra y Protección en Baja Tensión (Tablero Principal).....	15
6. CÁLCULO DE CONDUCTORES .....	17
6.1. Conductor Línea Principal (LP).....	18
6.2. Conductor Circuito Seccional General (CSG).....	19
7. CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA - CONCEPTOS.....	21
7.1. Factor de potencia .....	21
7.2. Principio de compensación .....	22
7.3. Diagrama de potencias.....	23
7.4. Consecuencias de un bajo factor de potencia.....	24
7.5. Ventajas de un buen factor de potencia.....	25
8. COMPENSACIÓN DE LUMINARIAS .....	26
9. COMPENSACIÓN DE FUERZA MOTRIZ (CCM).....	28
9.1. Características generales del equipo de compensación .....	28



9.2.	Capacitores.....	30
9.3.	Contactores.....	34
9.4.	Regulador Automático.....	36
9.5.	Interruptor general.....	41
9.6.	Protección de comando.....	42
9.7.	Fusibles limitadores de corriente.....	44
9.8.	Lectura de intensidad.....	46
9.9.	Lectura de tensión.....	47
9.10.	Alimentación 220 V.....	48
9.11.	Barras de distribución principales.....	48
9.12.	Alimentador principal.....	50
9.13.	Envolvente.....	50
9.14.	Diagrama de conexonado del equipo.....	53
10.	INVERSIÓN INICIAL.....	54
11.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	56
11.1.	Payback definición.....	56
11.2.	Costo mensual con Grupo Electrónico.....	57
11.3.	Costo mensual con Contratación de Suministro.....	58
11.4.	Payback resultado.....	60
<b>MEMORIA DE CÁLCULO.....</b>		<b>61</b>
12.	CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCTORES.....	61
13.	CÁLCULO MECÁNICO DE POSTES Y FUNDACIÓN.....	66
14.	DISEÑO DE CRUCETAS.....	67
15.	DISEÑO DE SOPORTE SOSTÉN (S).....	69
15.1.	Hipótesis de Cálculo.....	69
15.2.	Determinación de la altura del poste (Sostén).....	69
15.3.	Cálculo a la rotura del poste (Sostén).....	71
15.4.	Cálculo al vuelco de la estructura (Sostén).....	74
15.5.	Cálculo al hundimiento de la estructura (Sostén).....	78
16.	SOPORTE TERMINAL.....	80
16.1.	Hipótesis de Cálculo.....	80
16.2.	Cálculo a la rotura del poste (Retención).....	81
16.3.	Cálculo de la fundación (Retención).....	86
16.4.	Cálculo al vuelco de la estructura (Retención).....	87
16.5.	Cálculo del hundimiento de la estructura (Retención).....	93
17.	CAÍDA DE TENSIÓN EN MEDIA TENSIÓN (MT).....	94
18.	DEMANDA DE POTENCIA MÁXIMA SIMULTÁNEA.....	96



18.1.	<i>Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Planta</i> .....	96
18.2.	<i>Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Oficinas</i> .....	99
18.3.	<i>Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Pieza de Personal</i> .....	102
18.4.	<i>Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Baño de Servicio</i> .....	103
18.5.	<i>Demanda de Potencia Máxima Simultánea Total</i> .....	105
19.	ESQUEMA DE CONEXIÓN A TIERRA – VERIFICACIÓN .....	106
20.	SELECCIÓN DE FUSIBLES DE MEDIA TENSIÓN .....	107
21.	CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO .....	108
22.	CÁLCULO DE CONDUCTORES.....	113
22.1.	<i>Conductor de alimentación del Tablero Seccional General (CSG)</i> .....	113
23.	CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA - ILUMINACIÓN .....	125
24.	CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA – FUERZA MOTRIZ .....	127
24.1.	<i>Potencia del banco de capacitores</i> .....	127
24.2.	<i>Selección de los capacitores</i> .....	130
24.3.	<i>Contactores</i> .....	132
24.4.	<i>Regulador Automático</i> .....	132
24.5.	<i>Barras de distribución principales</i> .....	133
24.6.	<i>Alimentador principal</i> .....	134
24.7.	<i>Envolverte – Cálculos térmicos</i> .....	136
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		<b>144</b>
<b>ANEXO PLANOS</b> .....		<b>145</b>



## Memoria descriptiva

El siguiente documento constituye la Práctica Profesional Supervisada, correspondiente a la carrera Ingeniería Electromecánica Plan 2004, de la Facultad de Ingeniería. La misma fue desarrollada por Alejandro M. Hazelhoff en la empresa Cargill S.A.C.I, región Trenque Lauquen.

Se integran los siguientes temas, los cuales fueron objeto de análisis y estudio detallado:

- ❖ Cálculo, diseño y dimensionamiento de línea de alimentación en 13,2 kV.
- ❖ Cálculo, diseño y dimensionamiento de subestación transformadora de tensión 13,2/0,380 kV.
- ❖ Cálculo de líneas principales y circuitos seccionales.
- ❖ Diseño de la puesta a tierra de servicio y puestas a tierra de seguridad.
- ❖ Cálculo, diseño y dimensionamiento de banco de capacitores.
- ❖ Cómputo de materiales, cálculo económico de la obra y periodo de amortización.

El proyecto surge por solicitud de **Cargill S.A.C.I.**, empresa en la cual desarrollo tareas de mantenimiento electromecánico. La finalidad de la subestación será abastecer de energía eléctrica en baja tensión a una planta de acopio de cereales ubicada en la estación **Duhau**, partido de **Trenque Lauquen**. Actualmente la mencionada planta se vale de un generador eléctrico Diesel para satisfacer sus requerimientos energéticos.

La empresa cuenta con un predio de 10.500 m<sup>2</sup>, donde se hallan distribuidas las oficinas, un baño de servicio, una pieza para alojar el personal, un recinto cerrado donde se aloja el grupo electrógeno y la planta de acopio.

El proyecto y ejecución de la obra cumplirán con las prescripciones técnicas dispuestas en los reglamentos **IRAM** (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) e **IEC** (Comisión Electrotécnica Internacional) correspondientes; asimismo se aplicará la **Ley 19.587** de Higiene y Seguridad en el trabajo.

Se cumplirán los requisitos propios de los entes actuantes en el lugar de emplazamiento, en este caso el Reglamento de Suministro y Conexión de la Cooperativa Eléctrica de Trenque Lauquen.



### ***Finalidad de la obra eléctrica***

Actualmente la planta se abastece de energía eléctrica proveniente de dos fuentes diferentes, una red de distribución de 13,2 kV ubicada en el perímetro del predio y un generador eléctrico estacionario con motor Diesel.

Sobre la línea de media tensión se encuentra instalado un transformador aéreo de 10 kV.A, con sus respectivos accesorios de protección y comando, el cual abastece a las oficinas, los baños de servicio, la pieza del personal y la iluminación de todo el predio.

El grupo electrógeno suministra energía al embarrado principal del tablero de la planta (CCM o Centro de Control de Motores), a partir del cual se alimentan los motores utilizados para transporte y almacenamiento de los cereales.

La subestación se diseñará para unificar la alimentación de toda la instalación, quedando el grupo electrógeno de respaldo ante algún corte imprevisto de energía.

El objetivo primordial del proyecto es reducir las emisiones tóxicas producidas por la planta motriz Diesel del generador eléctrico, avalando las Políticas de Salud, Seguridad y Medio Ambiente vigentes en la empresa. Asimismo se pretende reducir los elevados costos que conlleva la generación eléctrica particular mediante combustibles fósiles.

Conjuntamente a los beneficios mencionados anteriormente, la obra proporcionará al cliente una mejor calidad de suministro eléctrico, y simplificará el manejo eléctrico de la planta, con la consiguiente reducción de riesgos para los operarios.



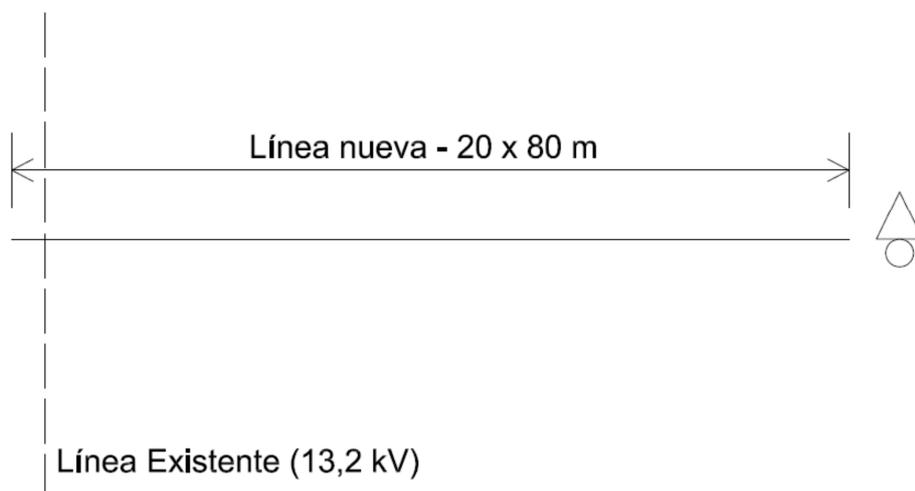
## Memoria Técnica

### 1. Línea de distribución

Se dimensionó la línea de distribución destinada a alimentar la subestación transformadora, la cual se realizará en 13,2 kV y se empalmará a una línea existente ubicada en las cercanías de la planta de acopio.

La línea se calculó y dimensionó conforme a lo establecido en el Reglamento Técnico y Normas Generales para el Proyecto y Ejecución de Obras de Electrificación Rural.

La disposición de la misma se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1** – Disposición línea MT.

De acuerdo a proyecto, la línea de distribución primaria será del tipo rígida, con postes de hormigón armado. Los mismos estarán directamente enterrados a excepción de los soportes terminales que contarán con su correspondiente fundación. El cable a utilizar será de aleación de aluminio de 35 mm<sup>2</sup> de sección.



### 1.1. Soporte Sostén

Poste:

Tipo hormigón armado 9/150/3:

- Altura 9 m.
- Diámetro en la cima 14 cm.
- Carga de rotura 450 kg.
- Peso 655 kg.

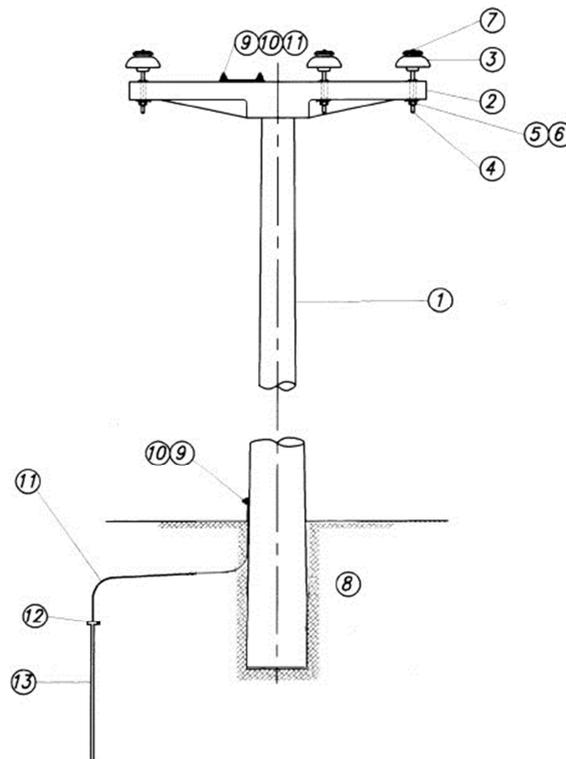
Cruceta:

- Longitud 1,6 m.
- Peso 225 kg.

Aislador:

Tipo polietileno con perno rígido:

- Marca Myeel - Modelo HPI 15 F.
- Tensión nominal 15 kV.



**Figura 2 – Soporte Sostén Hº Aº.**



Descripción:

1. Poste.
2. Cruceta.
3. Aislador campana MN3a.
4. Perno recto MN411B.
5. Arandela plana MN31.
6. Arandela elástica MN32b.
7. Atadura preformada.
8. Tierra.
9. Grampa puesta tierra MN80.
10. Bloquete H°G° 12x50 mm.
11. Cable Cu 35 mm<sup>2</sup> desnudo.
12. Tomacable.
13. Jabalina Ac/Cu 5/8" x 1500 mm.

**1.2. Soporte Terminal**

*Poste:*

Tipo hormigón armado 9/700/3:

- Altura 9 m.
- Diámetro en la cima 26 cm.
- Carga de rotura 2100 kg.
- Peso 1395 kg.

*Fundación:*

- Hormigón simple.
- Sección cuadrada 0,8 m. de lado.
- Profundidad 1,7 m.

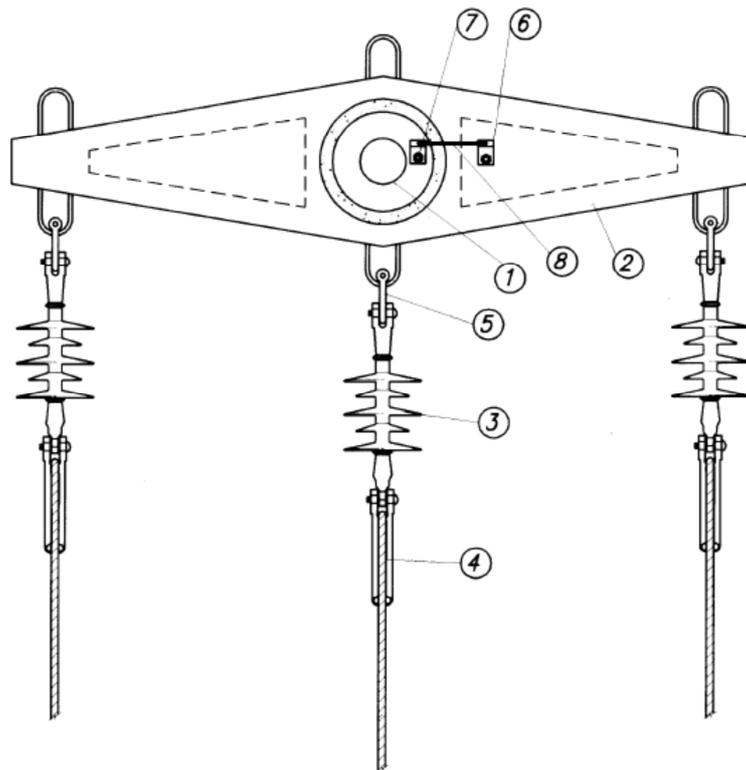
*Cruceta:*

- Longitud 1,60 m.
- Peso 385 kg.

*Aislador:*

Tipo suspensión, de porcelana a rótula:

- Modelo ALS-165-40 kN.



**Figura 3** – Soporte Terminal Hº Aº.

Descripción:

1. Poste.
2. Cruceta.
3. Aislador de retención R15H.
4. Morza de retención MR.
5. Horquilla terminal MN222.
6. Grampa puesta a tierra MN80.
7. Bloquete HºGº.
8. Cable Cu 35 mm<sup>2</sup> desnudo.

Conductores

- Tipo: Aleación de aluminio.
- Sección: 35 mm<sup>2</sup>.
- Diámetro exterior: 7,6 mm.
- Corriente máxima admisible: 160 A.
- Formación: 7x2,52 mm.



### 1.3. Tabla de tendido

La tabla de tendido se utiliza para el montaje de la línea, ésta se confeccionó para condiciones sin viento y con temperaturas que varían en incrementos de 5°C, desde los 10°C y hasta la máxima temperatura de la zona en estudio.

Para la línea diseñada, se obtuvo la tabla de tendido que se observa a continuación.

Tabla de Tendido				
Temperatura [°C]	$\sigma$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Flecha [m]	t 10 ret. [s]	Tiro [kg]
10	5,28	0,42	11,66	184
15	4,7	0,47	12,35	164
20	4,17	0,53	13,12	146
25	3,67	0,6	13,98	128
30	3,24	0,68	14,88	113
35	2,87	0,77	15,81	100
40	2,56	0,86	16,74	89
45	2,3	0,96	17,66	80

**Tabla I** – Tabla de tendido.

### 1.4. Planimetría

Los resultados obtenidos para la línea en cuestión se vuelcan en una planilla denominada planimetría.

La planimetría obtenida en este proyecto se encuentra en Anexo Planos.

### 1.5. Caída de tensión en media tensión (MT)

Se determinó la caída de tensión desde el punto de empalme hasta el transformador, para lo cual se calculó la reactancia inductiva de la línea.

De acuerdo a la Reglamentación de Electrificación Rural, la caída de tensión máxima admisible es de 5%, es decir 660 volts.

A partir de los cálculos efectuados en la Memoria de Cálculo, Página N° 94, la máxima caída de tensión será de 18 [V], es decir 0,1 %, verificando los valores exigidos en la reglamentación



## 2. Potencia Instalada

### *Consideraciones generales de Cálculo*

A partir de los datos e información recogida en el establecimiento, se procedió a determinar la potencia instalada. Posteriormente, considerando el coeficiente de simultaneidad adecuado para cada sector, se obtuvo la DPMS (Demanda de Potencia Máxima Simultánea).

El factor o coeficiente de simultaneidad se aplica debido a que, durante el funcionamiento de la instalación, existe la posibilidad de que no se conecte toda la potencia simultáneamente. El mismo se define como la relación entre la potencia máxima consumida y la potencia total instalada.

La DPMS de las oficinas, se determinó de acuerdo a la “Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles”, dentro de la subcláusula “oficinas y locales proyectados originalmente para tal fin”. Por otro lado, la DPMS de los baños de servicio y la pieza del personal se determinó de acuerdo a lo establecido en la subcláusula “viviendas” de la mencionada reglamentación.

La DPMS de la planta se estableció a partir del relevamiento previo de los consumos instalados, adoptando un factor de simultaneidad coherente con las características de funcionamiento de la misma y la probabilidad de funcionamiento simultáneo.

La DPMS Total de toda la instalación se especifica efectuando la suma de las DPMS de cada sector.

### *Resultados Obtenidos*

Los cálculos realizados se encuentran en la Memoria de Cálculo, Página N° 105.

<b>Ubicación</b>	<b>DPMS [kV.A]</b>
Motores planta de acopio	80
Iluminación planta de acopio	6,6
Oficinas	12
Pieza del personal	2,4
Baño de servicio	6,6
<b>TOTAL</b>	<b>107,6</b>

**Tabla II – Potencia instalada total.**



### 3. Contratación del Suministro

El suministro a solicitar será del tipo trifásico y la potencia a contratar será la que se obtenga como resultado del presente proyecto. La instalación se dimensionará para las cargas calculadas precedentemente, no obstante, el propietario podrá utilizar y contratar potencias inferiores según sus necesidades particulares.

Tipo de tarifa **T3BT**, Industrial de Media Potencia en Baja Tensión.

Potencias a contratar:

- Potencia en Pico: 70 [kV.A].
- Potencia fuera de pico: 65 [kV.A].

Donde las franjas horarias correspondientes son:

- Horario Pico: 18 a 23 h.
- Horario Fuera de Pico: 23 a 18 h.



## 4. Puestas a tierra (P.A.T)

### 4.1. *Esquema de conexión a tierra*

Los esquemas de conexión a tierra (ECT) definen la “Clasificación según la conexión a tierra de las redes de alimentación y de las masas eléctricas de las instalaciones eléctricas consumidoras”.

En este caso se utilizará un ECT tipo TT. Este esquema poseerá dos tomas de tierra claramente diferenciadas. La puesta a tierra (PAT) de servicio, a la cual se conecta un punto del sistema de alimentación, generalmente el conductor neutro. La PAT de protección, a la cual se conectan las masas eléctricas de la instalación consumidora a través del conductor de protección (denominado PE, protective earth).

Para conformar un esquema TT, la toma de tierra de protección deberá tener características de “tierra lejana o independiente” frente a la toma de servicio. Esta condición se debe verificar para que el potencial eléctrico de la PAT no sea sensiblemente afectado por las corrientes eléctricas entre la tierra y los otros electrodos de tierra.

Para cumplir con la condición antes mencionada, la toma de tierra de la instalación deberá situarse a una distancia mayor a diez veces el radio equivalente de la jabalina de mayor longitud.

La verificación correspondiente se encuentra en la Memoria de Cálculo, Página N° 106.

### 4.2. *Puesta a tierra de servicio*

Estará ubicada en cercanía del transformador, dentro del cerco perimetral de protección, será realizada a partir de una perforación para asegurar buenos valores de resistencia.

### 4.3. *Puesta a tierra de protección del cerco perimetral*

El cerco de alambre perimetral de la subestación estará debidamente protegido mediante, por lo menos, dos puestas a tierra. Las mismas se realizarán mediante jabalinas de acero cincadas, hincadas directamente en el terreno,



siempre y cuando con este método se logre una resistencia menor a  $10 \Omega$ . La vinculación entre la jabalina y el alambre tejido será mediante conductor de cobre desnudo de  $16 \text{ mm}^2$ , con empalmes que aseguren la continuidad eléctrica y mecánica. El cerco presentará buena conductividad eléctrica en todo su perímetro, para lo cual se emplearán flejes mallados.

#### ***4.4. Puestas a tierra de protección de la planta***

La planta cuenta actualmente con sus correspondientes puestas a tierra. Para asegurar el buen estado de las mismas, se realizará la verificación de las mismas mediante el empleo de un telurímetro, no debiendo arrojar ninguna de ellas un valor de resistencia superior a  $5 \Omega$ .

#### ***4.5. Medición e inspección de las puestas a tierra***

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de la seguridad, toda instalación de puesta a tierra deberá ser comprobada en el momento de su establecimiento y revisada cada seis (6) años. El mantenimiento de las mismas estará a cargo del cliente, debiendo quedar debidamente registrada y documentada cada inspección realizada, con sus resultados correspondientes.

Para permitir el correcto mantenimiento, todas las puestas a tierra contarán con registros metálicos claramente identificados mediante cartelería adecuada.



## 5. Subestación Transformadora (SET)

### 5.1. *Características generales*

La subestación transformadora es la instalación destinada a transformar la energía eléctrica de media tensión (13,2 kV) a baja tensión (0,38kV). Incluye el transformador, el equipamiento de maniobra y protección, el equipamiento de medición y la estructura que contiene al equipamiento.

Se prevé un centro de transformación MT/BT **con instalación intemperie a nivel, en área cercada y de operación interior**, para abastecer a un usuario ubicado en zona rural.

La instalación contará con los recursos necesarios para evitar el acceso a personas no calificadas, ya sean barreras, puertas y señales de advertencia de peligro correspondientes, de acuerdo a normativa vigente.

La alimentación en media tensión se realizará en forma aérea a partir de una línea de media tensión existente en el perímetro del predio.

### 5.2. *Ubicación*

Se determinó la ubicación adecuada para el emplazamiento de la subestación atendiendo a los factores técnicos y económicos más propicios.

Como ítem principal se priorizó la calidad de servicio definiendo una ubicación que reduzca caídas de tensión en baja tensión, siempre y cuando sea factible técnico y económicamente. Con este propósito la SET deberá estar cercana al centro de cargas de la instalación (Ver ubicación en Plano N° 01, Anexo planos).

### 5.3. *Potencia nominal*

La potencia nominal del transformador se determinó a partir de la demanda máxima de potencia simultánea de todo el predio.

Se utilizarán las series de potencias indicadas en la norma IRAM 2099.



Acorde con la demanda de potencia máxima simultánea total (107 kV.A), y estableciendo cierta potencia de reserva, el transformador que abastecerá la instalación contará con las siguientes características:

- Tipo: Distribución.
- Tensión de línea asignada lado MT: 13,2 kV.
- Tensión de línea asignada lado BT: 0,4 kV.
- Potencia asignada: 150 kV.A.
- Tensión de cortocircuito asignada: 4%.
- Relación de transformación asignada: 13,2/0,4 kV.
- Potencia de pérdidas: 2 kW.
- Tipo de conexión DY 11.

#### **5.4. Obra Civil**

La obra civil correspondiente a la instalación de la subestación con sus elementos de maniobra, protección y medición, se diseñará, dimensionará y ejecutará remitiéndose a las prescripciones técnicas y requerimientos de la empresa distribuidora de energía. Esta última proporciona los planos correspondientes a la obra civil, con las dimensiones y características requeridas. Ver Planos N° 02, 03 y 04, en Anexo Planos.

A este respecto, el titular será el responsable de los costos y la correcta ejecución de la obra, respetando las normas de instalación vigentes indicadas por la Cooperativa Eléctrica de Trenque Lauquen.



### 5.5. Elementos de Maniobra y Protección en Media Tensión

Se colocarán protecciones de media tensión aguas arriba del transformador protegiendo cada una de las fases. Dichas protecciones serán fusibles de **10 A**, colocados en seccionadores autodesconectables porta fusibles marca CAVANNA modelo BS 15-100-10 o similar, que posea las siguientes características:

- Tensión nominal: 15 [kV].
- Corriente nominal: 10 [A].
- Capacidad de ruptura: 10 [kA].



**Figura 4** – Seccionador fusible MT

Ver selección de fusibles en memoria de cálculo, Página N° 107.

#### **Descargadores de sobretensión**

Se instalarán descargadores de sobretensión en cada una de las fases, ubicados aguas arriba de los seccionadores de media tensión.

Éstos protegen sobretensiones de origen externo, generalmente atmosféricas, derivándolas a tierra.

Características:

- Tensión nominal: 15 [kV].
- Corriente nominal: 5 [kA].



**Figura 5** – Descargador de sobretensión

### **5.6. Elementos de Maniobra y Protección en Baja Tensión (Tablero Principal)**

La instalación en baja tensión será responsabilidad del contratista, deberá colocar y mantener en condiciones de eficiencia, a la salida de la medición y en el tablero principal, los dispositivos de protección y maniobra adecuados a la capacidad y/o características del suministro, conforme a los requisitos establecidos en el "Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles" emitida por la Asociación Electrotécnica Argentina, o la norma que la reemplace en el futuro.

Para maniobra en baja tensión se dispondrá de un seccionador de corte general, operable bajo carga (IEC 60947-3).

Para la protección frente a sobrecorrientes se podrá disponer de fusibles de alta capacidad de ruptura (IEC 60269) o en su defecto, interruptor automático (IEC 60947-2) con capacidad de ruptura adecuada a la máxima corriente de cortocircuito del centro de transformación.

#### **Interruptor Seleccionado**

Para **maniobra y protección** se utilizará un interruptor Merlín Gerín, instalado en el tablero principal, adyacente al tablero de medición.

Este interruptor cumple con la función de corte general y es operable bajo carga, cumpliendo con los requisitos de IEC 60947-3.



Por otro lado, dicho interruptor protege frente a **sobrecorrientes y cortocircuitos**, en conformidad a IEC 60947-2.

El cálculo de la corriente presunta de cortocircuito en bornes del transformador, se encuentra detallado en la Memoria de Cálculo, Página N° 108.

Para la selección del interruptor, además de la corriente de cortocircuito, se tiene en cuenta el conductor que formará parte del circuito seccional general (CSG).

Los datos para seleccionar el interruptor se encuentran en la memoria de cálculo, Página N° 118.

Las características del elemento seleccionado son:

- Tipo: Interruptor Automático.
- Marca: Merlin Gerín.
- Modelo: Compact NR 250 F, TMD 200D.
- Amperaje: 200-250 A, regulable.
- Poder asignado de corte ultimo:  $I_{cu}=25$  kA.
- Categoría: A (sin retardo de disparo previsto).

$$I_n : 250A$$

$$I_r : 207A \quad (0,82 \times 250)$$

$$I_m : 2.500A \quad (10 \times 250)$$



**Figura 6** – Interruptor compacto Merlin Gerín



## 6. Cálculo de Conductores

### *Consideraciones generales*

Las secciones de los conductores se determinaron y verificaron de acuerdo a lo establecido en la Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles. Éstas serán tales que la intensidad de corriente en servicio continuo no ocasione un calentamiento del conductor por encima de su temperatura admisible.

El procedimiento de cálculo de conductores contempla los requerimientos destinados a lograr una expectativa de vida suficiente de las aislaciones y los conductores, sometidos a los efectos térmicos de las corrientes admisibles transmitidas durante periodos prolongados en servicio normal.

A su vez se determinó el dispositivo de protección adecuado en función de la corriente máxima admisible del conductor en estudio.

Se siguieron una serie de pasos para cada circuito, los cuales se detallan a continuación:

- Determinación de la corriente de proyecto  $I_B$ , a partir de la DPMS del circuito considerado.
- Elección del conductor a partir de su corriente máxima admisible, teniendo en cuenta las condiciones de instalación del mismo.
- Elección de la corriente asignada del dispositivo de protección  $I_n$ , teniendo en cuenta la corriente de proyecto y la corriente máxima admisible del conductor.
- Verificación de la actuación de la protección por sobrecarga.
- Determinación de la corriente de cortocircuito máxima  $I_k''$ .
- Verificación por máxima exigencia térmica.
- Verificación de la actuación de la protección por corriente mínima de cortocircuito  $I_{k \min}$ .
- Verificación de la caída de tensión en el extremo del circuito.



### **Corrientes de cortocircuito**

Es indispensable, para la correcta selección de los dispositivos de maniobra y protección en baja tensión, determinar las corrientes de cortocircuito máximas en los tableros correspondientes.

El cálculo de la corriente presunta de cortocircuito se efectuará por aplicación de los métodos recomendados por AEA 90909, ver Memoria de Cálculo, Página N° 108.

### **Resultados obtenidos**

Corriente presunta de cortocircuito en bornes del transformador:

#### **Corriente de cortocircuito en bornes del transformador**

$$I''_{K-BORNES} = 5,43 \text{ [kA]}$$

#### **Corriente de cortocircuito en tablero principal (TP)**

$$I''_{K-TP} = 5,35 \text{ [kA]}$$

#### **Corriente de cortocircuito en tablero CCM**

$$I''_{K-CCM} = 4,5 \text{ [kA]}$$

### **6.1. Conductor Línea Principal (LP)**

La línea principal comprende la línea en baja tensión (380 V) que vincula los bornes de salida del medidor de energía con los bornes de entrada del tablero principal de la instalación. Su proyecto y elección está bajo la responsabilidad de la empresa distribuidora de energía.



## 6.2. Conductor Circuito Seccional General (CSG)

El circuito seccional general (CSG) comprende la línea en baja tensión (380 V) que vincula los bornes de salida del dispositivo de maniobra y protección del tablero principal, con las barras de entrada del tablero seccional general (TSG) de la instalación, también denominado CCM (Centro Control de Motores).

Será proyectado y dimensionado para abastecer la demanda máxima de potencia simultánea requerida por la planta.

Atendiendo a las características de lugar y a los diversos vehículos circulantes, se optó por cuestiones de seguridad realizar el circuito seccional general en forma subterránea, estando el mismo directamente enterrado y cumpliendo con los requerimientos establecidos en la reglamentación de la AEA.

Conforme a la Reglamentación de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles, para instalación subterránea directamente enterrada, los conductores permitidos son IRAM 2178, IRAM 62266 e IRAM 2268.

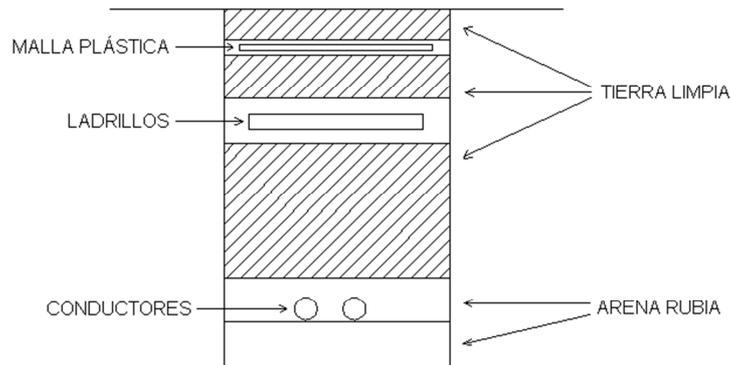
Como se indicó anteriormente, el conductor del circuito seccional general será dispuesto directamente enterrado, excavándose para tal fin una zanja de 0,8 metros de profundidad y 0,6 metros de ancho.

Se seguirá un determinado procedimiento para situar al conductor dentro de la zanja, de modo de evitar daños al mismo y garantizar una prolongada vida útil.

De acuerdo a lo anterior, las zanjas constarán de 0,15 m de arena rubia sobre la cual descansará el conductor, que luego será cubierto con otros 0,1 m de la misma arena.

Posteriormente, para proporcionar protección mecánica, se colocarán ladrillos enteros dispuestos en forma transversal a la traza, de dimensiones mínimas de 0,25 x 0,09 x 0,05 m.

Asimismo, se colocará una malla plástica de advertencia de color roja o roja y blanca con el texto "Peligro Eléctrico", a 20 centímetros de la superficie y en todo el desarrollo longitudinal de la zanja, para finalmente rellenar la misma con tierra limpia. En el siguiente esquema se puede observar el procedimiento detallado anteriormente:



**Figura 7** – Detalle del procedimiento de enterrado

### Resultados obtenidos

De acuerdo a los cálculos desarrollados en la Memoria de Cálculo, Página N° 113, el conductor de dicho circuito contará con las siguientes características:

- Conductor: IRAM NM 2178.
- Aislación y vaina: PVC.
- Tipo: Tetrapolar Subterráneo de potencia.
- Tensión nominal de servicio: 1,1 kV.
- Sección:  $3 \times 120/70 \text{ mm}^2$ .
- Caída de tensión: 2,83 [V] – 0,75 %



**Figura 8** – Detalle del conductor seleccionado



## 7. Corrección de factor de potencia - Conceptos

### *7.1. Factor de potencia*

El Factor de Potencia de un circuito de corriente alterna, es la relación existente entre la potencia activa  $P$  [kW] y la potencia aparente  $S$  [kV.A], considerando a las corrientes y tensiones como ondas senoidales perfectas.

Todo equipo electromecánico que esté constituido por devanados o bobinas, tales como motores y transformadores, necesitan la denominada corriente reactiva para establecer los campos magnéticos necesarios para su operación.

Este tipo de cargas (denominadas inductivas) absorben energía de la red durante la creación de los campos magnéticos que necesitan para su funcionamiento y la entregan durante la destrucción de los mismos. Esta transferencia de energía entre los receptores y la fuente, provoca pérdidas en los conductores, caídas de tensión en los mismos, y un consumo de energía suplementario que no es aprovechable directamente por los receptores.

La conexión de cargas inductivas en una instalación provoca el desfase entre la onda de intensidad y la tensión. El ángulo  $\varphi$  mide este desfase e indica la relación entre la potencia reactiva de una instalación y la potencia activa de la misma, es decir:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \text{Factor de Potencia}$$

Donde:

**P:** Potencia activa [W].

**S:** Potencia aparente [V.A].

Dicho desfase se puede reducir considerablemente mediante la instalación de capacitores de potencia, generando así un funcionamiento del sistema más eficaz y mejorando el rendimiento eléctrico de la instalación, esto se denomina técnicamente **compensación**.



## 7.2. Principio de compensación

El diagrama de la figura ilustra el principio de compensación de la potencia reactiva  $Q_L$  de una instalación a un valor de  $Q$ , mediante la conexión de una batería de capacitores de potencia  $Q_C$ . La actuación de la batería logra que la potencia aparente  $S$  reduzca su módulo.

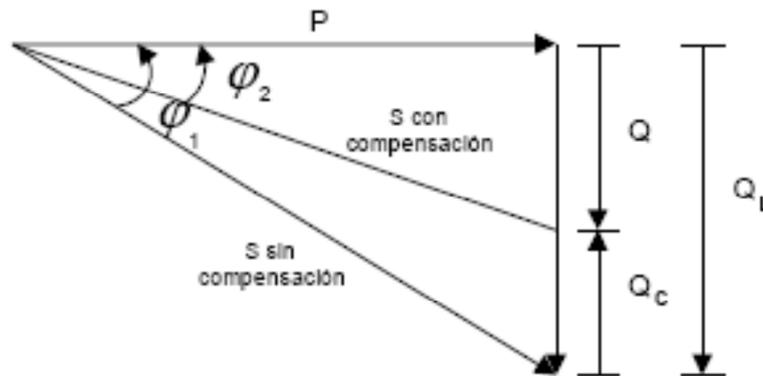


Figura 9 – Principio de compensación

Del diagrama anterior, se obtiene:

$$Q_C = Q_L - Q$$

Donde:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Combinando las anteriores:

$$Q_C = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

De donde se concluye:

$$\boxed{Q_C = P \cdot K}$$

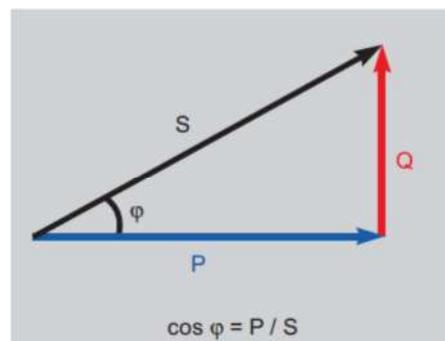
Siendo  $K$  un factor tabulado en función del factor de potencia existente en la instalación y el deseado después de la compensación (Tabla XXXIII, Página N° 127).



### 7.3. Diagrama de potencias

El ángulo formado en el triángulo de potencias por P y S equivale al desfase entre la corriente y la tensión y es el mismo ángulo de la impedancia; por lo tanto el  $\cos \varphi$  depende directamente del desfase.

En el siguiente gráfico se aprecia la relación existente entre los tres tipos de potencia y la ubicación del ángulo de desfase  $\varphi$ .



**Figura 10** – Diagrama de potencias

Como se indicó, el ángulo  $\varphi$  es el ángulo de la impedancia, de acuerdo al valor del mismo se pueden dar tres situaciones diferentes:

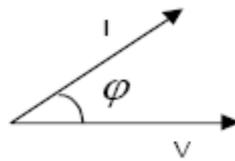
#### **Carga resistiva pura**

Para este tipo de cargas  $X=0$  y  $Z=R$ , la tensión está en fase con la corriente. Factor de Potencia=1.



#### **Carga Capacitiva**

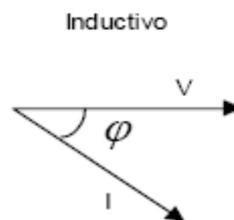
Predomina la reactancia capacitiva  $X_C$ , la corriente adelanta a la tensión en un ángulo  $\varphi$  positivo. Factor de Potencia  $< 1$ .



Capacitivo

### **Carga Inductiva**

Predomina la reactancia inductiva  $X_L$ , la corriente retrasa a la tensión en un ángulo  $\varphi$  negativo. Factor de Potencia  $< 1$ .



Este es el caso más frecuente, debido a la existencia de gran cantidad de motores en la industria, los cuales representan cargas inductivas.

#### **7.4. Consecuencias de un bajo factor de potencia**

Un bajo factor de potencia implica un aumento de la corriente aparente y por lo tanto un aumento de las pérdidas eléctricas en el sistema, es decir indica una eficiencia eléctrica baja.

- Aumenta el costo de la energía eléctrica, ya que tiene que ser transmitida más corriente, recayendo directamente sobre el consumidor industrial por medio de cláusulas incluidas en las tarifas.
- Causa sobrecarga en las líneas de distribución dentro de la misma planta industrial. Por otro lado las caídas de tensión y pérdidas de potencia se tornan mayores. Todo esto representa pérdidas y baja eficiencia del sistema eléctrico.
- **Transformador:** La capacidad nominal de transformador se expresa en kV.A. De esta manera, a un factor de potencia de 60%, los kW de potencia



activa disponible son de un 60% de la capacidad de placa del transformador.

- **Circuitos y Alimentadores:** En un circuito o alimentador, el bajo factor de potencia limita la potencia activa. A un factor de potencia de 60%, únicamente un 60% de la corriente total produce potencia productiva.
- Sobrecarga a los circuitos, aumentando las pérdidas.

### *7.5. Ventajas de un buen factor de potencia*

Un buen factor de potencia permite optimizar las características técnico-económicas relativas a una instalación, evitando el sobredimensionado de los elementos y optimizando su utilización.

Los beneficios derivados de un buen factor de potencia se expresan a continuación:

- Reducción en los costos de la energía eléctrica, dado que se evitan penalizaciones por parte de la empresa distribuidora de energía.
- Mejora la calidad de la energía eléctrica: un bajo factor de potencia ocasiona reducción en los valores de tensión ya que la corriente total de la línea aumenta, causando mayor caída de tensión a través de la impedancia de la misma.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores y líneas, liberación de capacidad del sistema.
- Aumento de la vida útil de las instalaciones, menores calentamientos.
- Reducción de pérdidas por efecto Joule en los conductores y transformadores. Estas pérdidas son contabilizadas como energía consumida (kWh) en el medidor.



## 8. Compensación de luminarias

La potencia reactiva de las luminarias se compensará en forma Individual, es decir, a cada consumidor inductivo se le asignará el capacitor necesario. Este tipo de compensación es muy efectivo para alumbrado, ya que la potencia reactiva fluye solamente sobre los conductores cortos entre el consumidor y el capacitor.

Con la compensación individual es posible en muchos casos influir negativamente en el comportamiento del aparato por compensar. La potencia reactiva capacitiva del condensador no tiene que ser excedida, pues se caería en una "sobre-compensación"; en el cual por ejemplo se puede causar una elevación de la tensión con resultados dañinos. Por esto es necesario que el condensador cubra solamente la potencia reactiva inductiva demandada por el consumidor cuando esté funcionando sin carga alguna, es decir, al vacío.

Ver diagramas de conexión y tablas de selección de capacitores en Memoria de Cálculo, Página N° 125.



### Resultados obtenidos

Compensación Luminarias				
Ubicación	Características	Potencia (w)	Capacitor (µf)	Conexión (Nº Fig.)
Pozo de norias	Equipo fluorescente 2x36W	72	8	8
Reflector pozo de norias	Luminaria bajo consumo	85	-	-
Interior Volquete 1	Luminaria Sodio Mod. 52000	250	33	6
Interior Volquete 2	Luminaria Sodio Mod. 52000	250	33	6
Interior Volquete 3	Luminaria Sodio Mod. 52000	250	33	6
Interior Volquete 4	Luminaria Sodio Mod. 52000	250	33	6
Sala tableros	Equipo fluorescente 2x36W	72	8	8
Silo S3	Equipo Sodio A.P	150	20	6
Silo S4	Equipo Sodio A.P	150	20	6
Reflector silo S3	Reflector Sodio A.P	250	33	6
Reflector silo S4	Reflector Sodio A.P	250	33	6
Exterior CCM	Sodio A.P	150	20	6
Exterior CCM	Sodio A.P	150	20	6
Exterior CCM	Luminaria bajo consumo	65	-	-
Luminaria 1 cabezal norias	Sodio A.P	150	20	6
Luminaria 2 cabezal norias	Sodio A.P	150	20	6
Reflector 1 cabezal norias	Sodio A.P/halogenuros	1000	2x50	6
Reflector 2 cabezal norias	Sodio A.P/halogenuros	1000	2x50	6
Silo 1	Lumin. Sodio Mod. 52000	250	33	6
Silo 2	Lumin. Sodio Mod. 52000	250	33	6
Exterior volquete	Lumin. Sodio Mod. 52000	250	33	6
Perimetral	Lumin. Sodio Mod. 52001	250	33	6

**Tabla III – Compensación luminarias**



## 9. Compensación de fuerza motriz (CCM)

### 9.1. Características generales del equipo de compensación

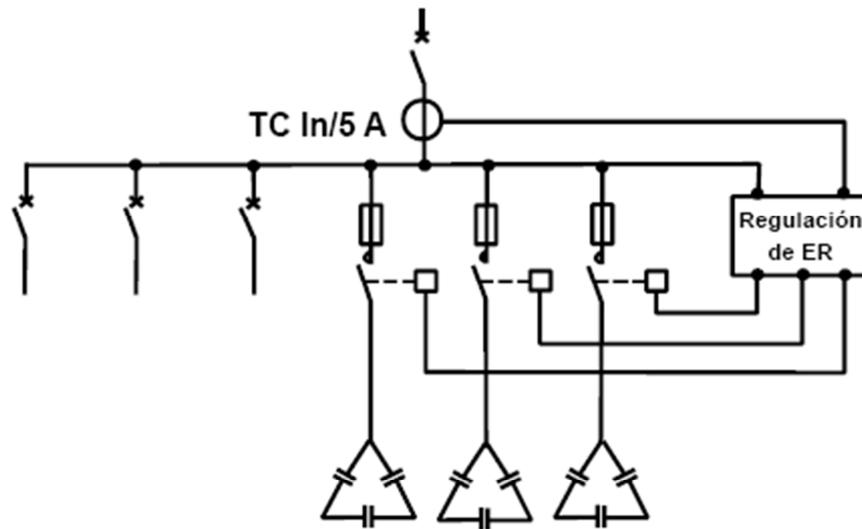
La planta será compensada mediante un banco de capacitores ubicado en la sala del Tablero Seccional General o CCM (Centro de Control de Motores), conectado directamente sobre el embarrado principal. Este tipo de compensación se denomina **Compensación Central**, ya que se compensa la potencia reactiva de diferentes consumos desde un solo punto de la instalación.

La compensación se efectuará por medio de un **banco automático de capacitores**, el cual permite la adaptación automática de la potencia reactiva suministrada por los condensadores, en función de la potencia reactiva solicitada en cada momento, ajustando al sistema a un factor de potencia prefijado, es decir, adapta la compensación a la variación de carga.

Otro aspecto importante de los bancos automáticos es que evitan sobretensiones o posibles fallas por resonancias, ocasionadas al dejar los capacitores conectados cuando el sistema está en vacío.

Este tipo de equipamiento cuenta con un **regulador automático** que detecta el factor de potencia y actúa automáticamente en la conexión y desconexión de los escalones de la batería.

Se diseñó un banco automático de capacitores de **seis pasos**. De acuerdo a la potencia reactiva requerida por el sistema y al número de pasos mencionado, se determinó el valor de cada escalón de la batería de capacitores.



**Figura 11** – Esquema simplificado de conexión.

### **Dimensionado de los componentes**

El dimensionado de los cables y de los elementos de maniobra y protección, aguas arriba de la batería, depende de la corriente absorbida por la misma. A su vez, la corriente absorbida depende de:

- Potencia de la batería,
- Tensión aplicada,
- Armónicos de la red.

Las variaciones admisibles de la tensión y los posibles armónicos de la red pueden producir un incremento del 30% de la corriente nominal. También existen variaciones en la potencia de los condensadores, consecuencia de las tolerancias de fabricación, que por normativa pueden llegar hasta un 15 %.

La suma de los dos parámetros puede llegar a valores de  $1,3 \cdot 1,15 = 1,49$  In. Es decir, se debe prever un sobredimensionado de un 50% de las instalaciones aguas arriba de una batería de capacitores.

El tablero de corrección de factor de potencia contará con los siguientes elementos, los cuales serán objeto de diseño:



### *Elementos principales:*

- Capacitores trifásicos.
- Contactores.
- Regulador Varlogic.
- Interruptor general.
- Fusibles protección de comando.
- Fusibles limitadores de corriente.

### *Elementos externos:*

- Transformador de intensidad.
- Conexión para lectura de tensión.

### *Otros elementos:*

- Barras de distribución principales.
- Alimentador principal.
- Envolvente.

Los elementos externos posibilitan la toma de datos de la instalación, los cuales permiten actuar correctamente al equipo de compensación automático

## *9.2. Capacitores*

### *Consideraciones generales*

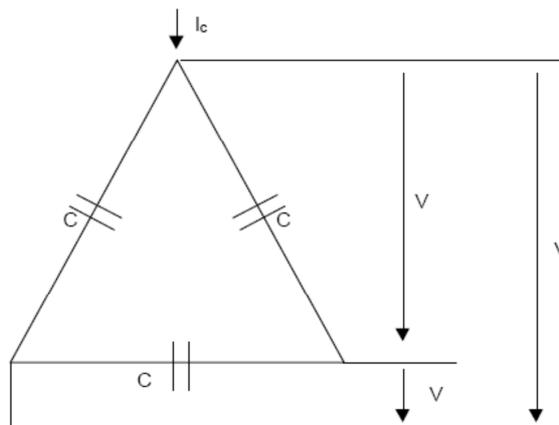
Los capacitores son los elementos que aportan la energía reactiva a la instalación para compensar la inductividad del sistema. Los mismos serán trifásicos del tipo modular, con conexión interna en triángulo.

### *Esquema de conexión*

La conexión se realizará en paralelo, diagrama conocido como **compensación en paralelo**. Este es el método más utilizado para sistemas trifásicos, donde la **conexión interna** de los capacitores se realiza en Triángulo o Delta.



En la Figura 12 se presenta el detalle de la conexión interna en de un capacitor trifásico, conformado por tres elementos monofásicos.



**Figura 12** – Conexión interna de un capacitor trifásico.

Para conexión en triángulo y corriente trifásica, es válida la siguiente ecuación para el cálculo de la corriente del capacitor:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Donde:

- **I<sub>c</sub>**: Corriente del capacitor [A].
- **Q**: Capacitancia total (suma de las tres capacitancias) [var].
- **V**: Tensión nominal del capacitor [V].

### **Potencia del banco de capacitores**

El cálculo de la potencia del banco de capacitores se determinará a partir de tablas, teniendo en cuenta el factor de potencia existente y el deseado.

La Tabla XXIII presentada en la Memoria de Cálculo, Página Nº 127, proporciona el valor del factor K, en función del factor de potencia antes y después de la compensación. Para hallar la potencia requerida del banco de capacitores a instalarse, se multiplica el factor K hallado por la Potencia Activa del sistema eléctrico.



### *Resultados Obtenidos*

- Factor de potencia inicial: 0,84.
- Factor de potencia deseado: 0,95.
- Factor K: 0,317.
- Potencia total del banco de capacitores: 45 kvar.

### *Capacitores Seleccionados*

Conforme a lo mencionado en la Memoria de Cálculo, Página N° 130, los capacitores seleccionados presentan las siguientes características:

- Marca: Merlín Gerín.
- Modelo: Varplus M1.
- Potencia: 1x5 + 1x10 + 2x15 [kvar].
- Corriente nominal: 7,2, 14,4 y 21,6 [A].
- Tensión nominal: 400-415 [V].
- Frecuencia: 50 [Hz].

El cálculo de la corriente nominal de los mismos se realizó en la Memoria de Cálculo, en la sección 'Corriente Nominal de los capacitores', Página N° 131.

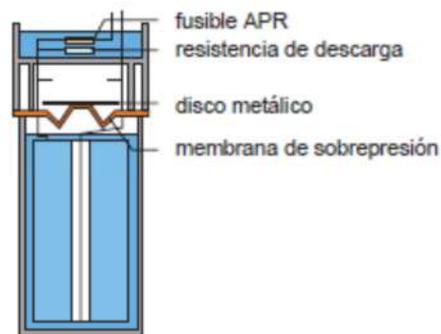
### *Características particulares de los capacitores seleccionados*

- Responden a las normas IEC 60831 1/2, NFC 54-104, VDE 0560, Teil 41, CSA 22-2 No 190, UL 810.
- Autocicatrizantes: Esta ventaja es proporcionada a partir de la utilización de un film de polipropileno metalizado que evita la necesidad de cualquier impregnante.
- Protección contra los defectos de elevada intensidad mediante un fusible interno de alto poder de corte (Fusible APR normalizado).



- Protección contra los defectos de baja intensidad, mediante la combinación de una membrana de sobrepresión asociada al fusible interno APR.
- Envolvente plástica de los condensadores con doble aislamiento eléctrico, excelentes propiedades mecánicas y máxima autoextinguibilidad.

En la Figura 13 se puede observar un corte de un elemento monofásico que muestra el sistema de protección HQ, formado por la actuación combinada de la membrana de sobrepresión que actúa por medio de un disco metálico sobre el fusible interno.



**Figura 13** – Corte de elemento monofásico.

En la Figura 14 se aprecia la apariencia real de los capacitores trifásicos modulares Varplus M1, y en la Figura 15 las dimensiones de cada módulo.



**Figura 14** – Capacitores Varplus M1.

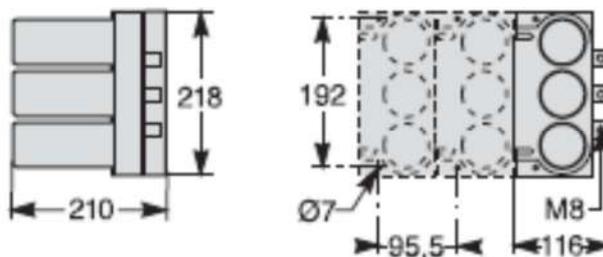


Figura 15 – Dimensiones del módulo de capacitores.

Características Técnicas	
Tolerancia en la capacidad	10%
Clase de aislamiento	Resistencia a 50 Hz, 1 min: 6 kV
	Resistencia a onda de choque: 1,2/50 $\mu$ S: 25 kV
Intensidad máxima admisible	1,3 In (400 V)
Tensión máxima admisible	456 V
Pérdidas	< 0,5 W/kvar
Temp. Máxima ambiente	55 °C
Temp. Mínima ambiente	- 25 °C

Tabla IV – Características técnicas Varplus M1.

### 9.3. Contactores

Serán los elementos encargados de conectar los distintos capacitores que configuran la batería, es decir los diferentes pasos de la misma.

La conexión de capacitores es equivalente al cierre en cortocircuito durante el tiempo de conexión, lógicamente disminuyendo en función de la carga, por tanto se genera un pico de intensidad transitorio durante el tiempo de carga. La corriente de cresta en estas condiciones debe ser inferior a **100 In** (escalón), valor límite establecido por normativa.



Para evitar el mal funcionamiento (soldadura de polos principales, el aumento anormal de temperatura, etc.), los contactores para conmutar bancos de condensadores deberán ser dimensionados para resistir:

- Una valor de intensidad permanente que puede llegar a 1,5 veces la corriente nominal del banco condensador.
- El peak de corriente en el cierre del polo.

Esto requiere que los contactores a utilizar deban poseer características especiales que los adapten a las condiciones de funcionamiento, garantizando así la prolongada vida útil del elemento.

Se seleccionarán contactores específicamente diseñados para el mando de condensadores de potencia, los cuales están equipados con un bloque de contactos de paso adelantado al cierre de los contactos principales, conectados en serie con **resistencias de preinserción**. De esta manera se logra limitar la intensidad en el momento de la conexión.

### *Contadores Seleccionados*

De acuerdo a lo determinado en la Memoria de Cálculo, Página N° 132, los contactores que se utilizarán serán:

- Marca: Telemecanique.
- Modelo: 2 LC1-DFK y 2 LC1-DLK.
- Contactos NA: 1.
- Contactos NC: 1.
- Limitan intensidad en la conexión a 60 In.



**Figura 16** – Contactor Telemecanique LC1.



#### 9.4. Regulador Automático

Su función es medir el  $\cos \varphi$  de la instalación y dar las órdenes a los contactores para conseguir el  $\cos \varphi$  deseado, conectando los distintos escalones de potencia reactiva.

El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automático depende de las salidas que tenga el regulador.

El regulador a implementar depende de las dimensiones de la instalación y existen en el mercado reguladores desde 6 hasta 12 escalones.

#### Regulador Seleccionado

Como se mencionó, el regulador a implementar depende de las dimensiones de la instalación. Para la planta de Duhau, se instalará un regulador con las siguientes características:

- Marca: Merlin Gerín.
- Modelo: Varlogic R6 de 1 a 6 escalones.



**Figura 17** – Varlogic R6.



### *Concepto de regulación*

Existen dos tipos de regulación en una batería de capacitores, la regulación eléctrica y la regulación física. Para lograr un funcionamiento óptimo de la batería se debe lograr un equilibrio entre ambos tipos de regulación.

**Regulación física:** Se denomina regulación física al escalonamiento de la batería, y representa la composición y el número de conjuntos condensador-contactador que la conforman. Normalmente se puede expresar como relación de la potencia del primer escalón con cada uno de los demás escalones.

**Ejemplo:** Batería de 50 kvar formada por los siguientes escalones de potencia: 10+20+20, tendrá una regulación física **1.2.2**.

**Regulación eléctrica:** La regulación eléctrica es un parámetro que influye considerablemente en la actuación de la batería, y se refiere al escalonamiento mínimo de la misma.

**Ejemplo:** En el ejemplo anterior, la regulación eléctrica sería 10 kvar, ya que es el escalonamiento mínimo con el que actuará la batería.

Atendiendo a lo mencionado, se puede ver que existe una relación de compromiso entre regulación física y regulación eléctrica:

Cuanto menor es la regulación eléctrica, mejor se adapta la batería a las variaciones de la demanda de reactiva de la instalación.

Una menor regulación eléctrica condiciona a aumentar los escalones físicos del equipo, impactando directamente en el costo del mismo ya que se requerirán más conjuntos contactador-condensador.

Por lo tanto, en cada instalación particular se deberá buscar un equilibrio que garantice la funcionalidad y el costo del equipo.



### ***Nomenclatura utilizada***

Para identificar los **parámetros principales de una batería** de capacitores, se suele utilizar una nomenclatura compuesta por tres números:

**(n1 n2 n3)**

Donde:

- **n1**: Indica la potencia de la batería.
- **n2**: Indica la cantidad de escalones físicos, es decir la Regulación Física.
- **n3**: Indica el mínimo escalonamiento, es decir la Regulación Eléctrica.

**Ejemplo:** Una configuración (7 3 10) indica batería de 70 kvar, de tres escalones físicos y un primer escalonamiento de 10 kvar.

Para identificar la **regulación de una batería** de capacitores, se suele utilizar una nomenclatura conformada de la siguiente manera:

**n1.n2.n3...**

Donde:

- **n1**: Potencia del primer escalón.
- **n2**: Potencia del segundo escalón en relación al primero.
- **n3**: Potencia del tercer escalón en relación al primero.
- **etc.**

**Ejemplo:** Una batería de 60 kvar, compuesta por los siguientes escalones: 10+20+30, tiene una regulación 1.2.3, ya que el segundo escalón es el doble que el primero, y el tercer escalón es tres veces el primero.



### *Programación del regulador*

Los datos que se deben programar en un regulador al realizar la puesta en marcha son los siguientes:

- El  $\cos \varphi$  deseado en la instalación.
- La relación C/K.

Estos datos son únicos para cada instalación y no se pueden programar de fábrica.

### *Relación C/K*

La relación C/K es un parámetro que se introduce en el regulador, a partir del cual se determina la necesidad de conexión de los sucesivos escalones.

El ajuste del C/K tiene una gran importancia, para comprenderla hay que tener en cuenta que cada batería tiene su propio escalón base, y cada uno tiene valores discretos de potencia reactiva. Por tanto, la batería sólo podrá ajustar su potencia a la potencia solicitada, en función del  $\cos \varphi$  deseado, cuando ésta tenga un valor igual o múltiplo del escalón base.

Cuando el requerimiento de reactiva no fuera un múltiplo del escalón base, la batería estaría constantemente fluctuando entre los escalones inmediatamente superior e inferior al valor requerido. Para evitar esta fluctuación existe la regulación C/K.

Como se ha visto, la batería no se puede ajustar exactamente a la demanda de reactiva que existe en cada momento en la instalación, por eso se crea una banda de funcionamiento estable del regulador. Esa banda es el C/K; por encima de la banda C/K el regulador va a conectar escalones y por debajo los desconecta.

Esto implica que un ajuste demasiado bajo del C/K (banda angosta) tendrá como resultado un sobretrabajo inútil de los contactores; un C/K demasiado alto



supondría una banda estable excesivamente ancha, y por lo tanto no se alcanzaría el  $\cos \varphi$  deseado.

En la Figura 18 se puede observar en detalle la banda de C/K.

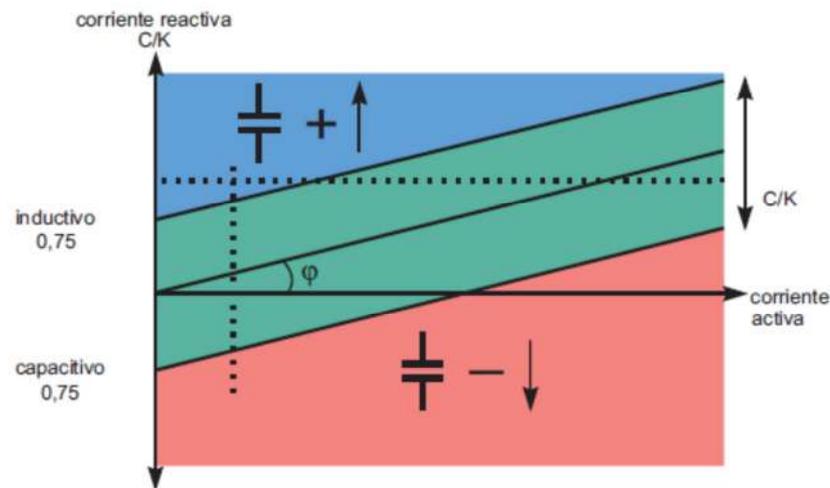


fig. 29: interpretación del ajuste C/K en un regulador de energía reactiva.

**Figura 18 - Banda C/K.**

### Resultados obtenidos

El regulador seleccionado proporciona la posibilidad de ajuste automático del C/K bajo cualquier condición de carga de la instalación. En ajuste manual permite introducir valores de C/K desde 0,01 hasta 1,99 pudiendo visualizar en pantalla el valor ajustado.

A partir de los cálculos correspondientes desarrollados en la Memoria de Cálculo, Página N° 132, se arribó a los siguientes resultados:

- C/K: 0,15.
- Factor de potencia deseado: 0,95.



### 9.5. Interruptor general

El interruptor general tendrá como función el seccionamiento del alimentador principal del tablero de corrección de factor de potencia.

Para los interruptores automáticos, su capacidad de cierre debe ser superior a la intensidad de cortocircuito de la red, en su punto de conexión.

Datos:

- $I_n$ : 64,8 [A].
- $I_{CC}$ : 4,5 [kA].

La corriente nominal del tablero de corrección de factor de potencia, es la suma de las corrientes nominales de todos los pasos de capacitores que posee.

La corriente de cortocircuito en este punto se determinó en la Memoria de Cálculo, Página N° 111.

Recordando que se debe prever un sobredimensionado de un 50% de las instalaciones aguas arriba de una batería de capacitores, la corriente de diseño para seleccionar el interruptor será:

- $I_d$ : 97,2 [A]

### Interruptor seleccionado

Interruptor seccionador rotativo con las características:

Marca: Merlin Gerin o similar.

Modelo: Interpact INV/INS.

Calibre: 100 [A].

Poder de corte: 20 [kA].



**Figura 19** – Merlin Gerin Interpact INS.



### 9.6. Protección de comando

Para protección del circuito de comando se emplearán bases portafusibles con montaje sobre riel din, provistas con fusibles cilíndricos de cerámica.

#### Base seleccionada

- Marca: SASSIN o similar
- Modelo: RT18

#### Fusibles seleccionados

- Marca: SASSIN o similar
- Modelo: F-10x38-2
- Calibre: 2 [A]
- Tipo: gL
- Rango de tensión: 500 [V]

**Tipo gL:** adecuados para protección de líneas frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Como se puede observar, la aplicación de los fusibles se indica con dos letras, siendo minúscula la primera y mayúscula la restante.

La primera letra señala la clase de funcionamiento:

- **a:** fusibles de uso parcial; Fusibles que, como mínimo, pueden conducir en forma permanente corrientes de hasta la intensidad asignada indicada y, además, están en condiciones de interrumpir corrientes con un determinado múltiplo de su valor asignado hasta la intensidad asignada de la corriente de desconexión.
- **g:** Fusibles de uso general; Fusibles que pueden conducir en forma permanente corrientes de, como mínimo, la intensidad asignada indicada y, además, están en condiciones de interrumpir las corrientes de fusión más pequeñas hasta llegar a su intensidad asignada de la



corriente de desconexión. Protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

La segunda letra señala la aplicación o el equipo a proteger:

- **G**: Protección de cables y conductores (uso general).
- **M**: Protección de aparatos de maniobra / motores (para protección de circuitos de motores).
- **R**: Protección de semiconductores/tiristores (para protección de rectificadores).
- **L**: Protección de cables y conductores.
- **B**: Protección de instalaciones mineras.
- **Tr**: Protección de transformadores.

La norma IEC 269 define el tipo gG, el cual es totalmente equivalente al gL  
Estos productos son conforme al estándar IEC63211



*Figura 20 – Bases portafusible Sassin.*



*Figura 21 – Fusibles cilindricos Sassin.*



### 9.7. Fusibles limitadores de corriente

La protección de las baterías se realiza mediante una terna de fusibles de alto nivel de interrupción (100kA), los cuales deberán poder absorber las corrientes de cresta sin desconectar. También es posible utilizar interruptores automáticos termomagnéticos con curva de disparo D.

Para los condensadores Varplus, la tolerancia sobre el valor de la capacidad es inferior o igual al 10%. El incremento de la corriente, en función del incremento de la tensión y con la acción de las corrientes armónicas, a un valor del 30%, nos lleva a un valor conjunto de:  $1,3 \times 1,10 = 1,43 I_n$ .

Por lo tanto, la corriente de diseño  $I_b$  que se utilizará para determinar la corriente asignada del dispositivo de protección, será  $1,5 I_n$ .

Se utilizarán seccionadores bajo carga para fusibles NH, cuyo calibre se determinará de acuerdo a la potencia capacitiva del paso considerado.

#### Seccionadores bajo carga seleccionados

- Marca: Siemens o similar
- Modelo: 3NP 160A
- Sistema de fusibles: NH

Cumplen las especificaciones de las normas IEC 60 947-1, IEC 60 947-3 y DIN VDE 0660.



**Figura 22** – Seccionador Siemens.



### *Fusibles seleccionados*

- Marca: Siemens o similar.
- Modelo: 3NA6.
- Tamaño: 00.
- Clase de servicio: gL.
- Tensión de diseño: 500 [V].



**Figura 23** – Fusible Siemens.

#### **Primer paso**

Potencia: 5 [kvar]

In: 7,2 [A]

Id: 10,8 [A]

Calibre: 16 [A]

#### **Segundo paso**

Potencia: 10 [kvar]

In: 14,4 [A]

Id: 21,6 [A]

Calibre: 25 [A]

#### **Tercer y cuarto paso**

Potencia: 15 [kvar]

In: 21,6 [A]

Id: 32,4 [A]

Calibre: 35 [A]

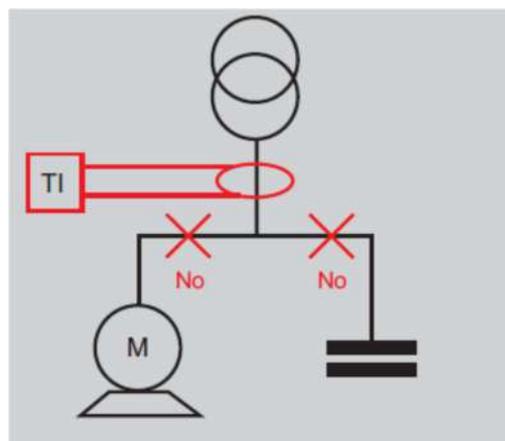


### 9.8. Lectura de intensidad

Se conectará un transformador de intensidad que leerá el consumo de la totalidad de la instalación.

La instalación cuenta con un único embarrado de BT, con lo cual la compensación se realiza para la totalidad de los receptores. De acuerdo a lo indicado, en el primario del transformador de intensidad debe circular toda la potencia de la instalación. Para la selección de su amperaje es normal considerar el mismo valor del interruptor automático general. La toma de la señal de la intensidad se realiza a través de un transformador de intensidad X/5.

Es indispensable la correcta ubicación del TI según la Figura 24; la instalación del transformador en los puntos indicados con una cruz no es correcta.



**Figura 24** – Ubicación correcta del TI.

#### **TI seleccionado**

El transformador de intensidad seleccionado para esta instalación, de acuerdo a la demanda de potencia máxima simultánea (107 kV.A), es:

- TI 250/5 A.
- Clase 1
- 7,5 V.A.



Clase 1: Clase de precisión.

La clase de precisión se designa por el error máximo admisible en por ciento, que el transformador pueda introducir en la medición, operando con su corriente nominal primaria y a frecuencia nominal.

Clase de precisión	Error de intensidad en %, $\pm$ , para los valores de intensidad expresados en % de la intensidad asignada			
	5	20	100	120
<b>0,1</b>	0,4	0,2	0,1	0,1
<b>0,2</b>	0,75	0,35	0,2	0,2
<b>0,5</b>	1,5	0,75	0,5	0,5
<b>1,0</b>	3,0	1,5	1,0	1,0

**Tabla V** – Error admisible de acuerdo a la Clase de Precisión



**Figura 25** – Transformador de intensidad.

### 9.9. Lectura de tensión

Sera incorporada en la propia batería, de manera que al efectuar la conexión de potencia de la misma ya se obtiene este valor. Esta información de la instalación (tensión e intensidad) le permite al regulador efectuar, en todo momento, el cálculo del  $\cos \phi$  existente y lo capacita para tomar la decisión de conectar o desconectar escalones de capacitores.



### 9.10. Alimentación 220 V

Es necesaria la alimentación a 220 V para el circuito de mando de la batería. Las baterías incorporan un par de bornes denominados “a, b” para este efecto.

Dicha alimentación será protegida mediante fusibles cilíndricos similares a los utilizados para protección de circuito de comando, de 2 [A].

### 9.11. Barras de distribución principales

El tablero de corrección de factor de potencia contará con barras de cobre electrolítico para distribución interna. Se montarán sobre soportes aislantes tipo escalera y se vincularán directamente al interruptor general mediante bulones adecuados.

Las dimensiones de las barras se determinarán de acuerdo a la corriente de proyecto, ver Memoria de Cálculo, Página N°133.

#### *Barras seleccionadas*

#### *Barras de Fases*

La conexión de los capacitores trifásicos se efectuará mediante una terna de barras de cobre electrolítico, con las siguientes características:

Dimensiones Ancho x espesor [mm x mm]	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]	Corriente admisible [A]
15 x 3	44,5	0,396	162

**Tabla VI** – Características barra seleccionada



**Figura 26** – Barras de cobre electrolítico.



### **Barra de Neutro**

El banco de capacitores utiliza el neutro para el circuito de comando, la alimentación del regulador automático, indicaciones luminosas, etc.; para lo cual es indispensable contar con una barra de distribución para el neutro.

Dicha barra será del tipo prefabricada con 1 entrada y 12 salidas, montada sobre bases soporte de material aislante autoextinguible, tal como se muestra en la Figura 27:



**Figura 27** – Barras prefabricada con soportes aislantes.

Características:

- Barra: Latón niquelado brillante.
- Tornillos: Acero galvanizado y zincado.
- Base soporte: Poliamida autoextinguible.

### **Barra de Tierra**

Se dispondrá de barra de tierra con soporte aislante para acopiar todas las puestas a tierra internas del tablero, ya sean de capacitores, partes metálicas, etc. Se utilizará una barra prefabricada.

Características:

- Barra: Latón niquelado brillante.
- Tornillos: Acero galvanizado y zincado.
- Base soporte: Poliamida autoextinguible.



### 9.12. Alimentador principal

Éste comprende la línea en baja tensión (380 V) que vincula las barras del tablero seccional general (TSG o CCM), con el interruptor general del banco de capacitores.

Será proyectado y dimensionado para admitir la demanda máxima de potencia requerida por el banco funcionando al 100%.

De acuerdo a los cálculos desarrollados en la Memoria de Cálculo, Página N° 134, el conductor seleccionado es:

- Conductor: IRAM 2178.
- Aislación y vaina: PVC.
- Tipo: Unipolar Subterráneo de potencia.
- Tensión nominal de servicio: 1,1 kV.
- Sección: 3x(1x25) mm<sup>2</sup>.

### 9.13. Envolvente

#### **Generalidades**

El tablero del banco de capacitores estará ubicado sobre el lateral del CCM, estando el mismo inaccesible a personal BA1, BA2 y BA3 (persona normal u ordinaria, niños y personas con capacidades diferentes). El acceso a partes con tensión será sólo posible luego de la remoción de la tapa frontal, la cual estará asegurada mediante cerradura.

De acuerdo a lo citado en la reglamentación AEA 90364-7-771, se empleará un gabinete o envolvente vacío que corresponda a la norma IEC 62208. Estas envolventes pueden operar con tensiones de hasta 1000 V c.a tanto en lugares interiores como intemperie. En su armado deben cumplir con IEC 60439-1 y sólo



ser operados por personal BA4 o BA5 (Personas Instruidas y Calificadas en seguridad eléctrica).

### **Señalización**

El tablero del banco de capacitores se encontrará adecuadamente identificado y su envolvente poseerá en la parte frontal el símbolo de 'Riesgo Eléctrico' (Norma IRAM 10005-1) con una altura mínima de 40 mm.

Tanto el símbolo de 'Riesgo Eléctrico' como la leyenda indicativa del tablero se realizarán mediante grabado, pintado en forma indeleble o algún otro método que asegure su permanencia en el tiempo.



La leyenda indicativa se ubicará debajo del símbolo de riesgo eléctrico escrita con letras negras sobre fondo amarillo, con una altura mínima de 10 mm.

### **Forma constructiva**

Se dispondrá de lugar de reserva para eventuales ampliaciones. Con este fin se reservará un espacio tal que permita agregar como mínimo dos pasos de capacitores. Se adoptó este criterio ya que el banco de capacitores diseñado cuenta con cuatro pasos, y el regulador permite controlar hasta seis pasos.

### **Disipación térmica**

El tablero se dimensionará y verificará térmicamente de manera tal de asegurar que no se producirán sobreelevaciones de temperatura que sean perjudiciales para el funcionamiento u operación de los dispositivos, aparatos, conductores y demás materiales instalados en el mismo.



Se deberá verificar que la potencia disipada por los dispositivos, accesorios y aparatos instalados no supere la potencia máxima disipable por el gabinete (dato garantizado por el fabricante).

### **Resultados obtenidos**

Se observan a continuación los resultados obtenidos, cálculos detallados en Memoria de Cálculo, Página N° 136.

Potencia total disipada:

$$P_{tot} = 48,3 + 0,2 \times 48,3 + 221,7 \Rightarrow P_{tot} \approx 280 [W]$$

### **Envolvente sin ventilación**

- Marca: Schneider Electric.
- Modelo: Monobloc de acero con placa de montaje.
- Montaje: Colocado contra pared.
- Alto: 1800 mm.
- Ancho: 1200 mm.
- Profundidad: 400 mm.
- Volumen interior: 0,864 m<sup>3</sup>.
- Temperatura máxima interior: 45 °C.

### **Envolvente con ventilación**

- Marca: Schneider Electric.
- Modelo: Monobloc de acero con placa de montaje.
- Montaje: Colocado contra pared.
- Alto: 1200 mm.
- Ancho: 1000 mm.
- Profundidad: 300 mm.
- Volumen interior: 0,36 m<sup>3</sup>.
- Temperatura máxima interior sin ventilador: 53 °C.



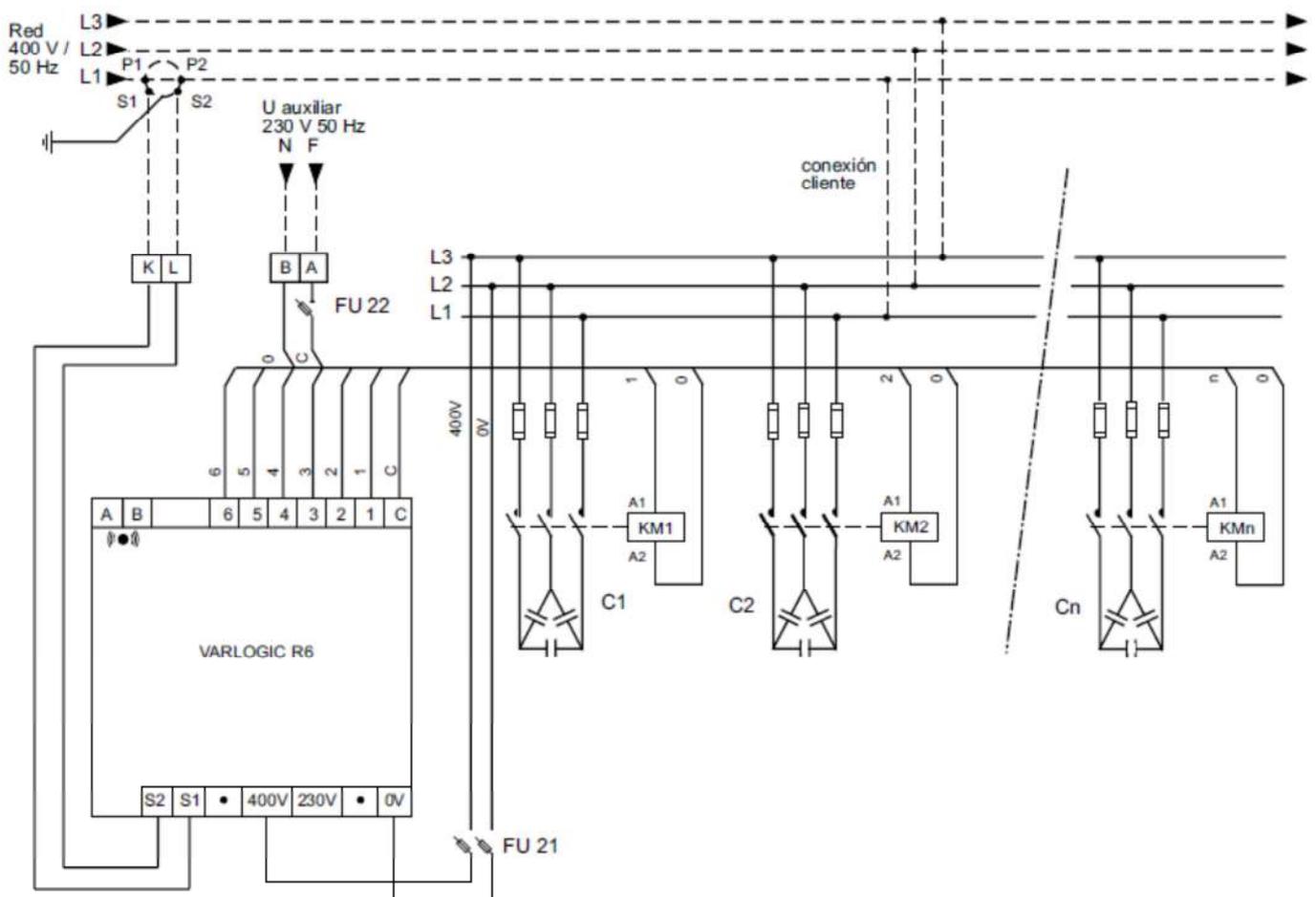
### Características del ventilador

- Marca: Schneider Electric.
- Modelo: NSYCVF85M230PF.
- Caudal: 63 m<sup>3</sup>/h.
- Estanqueidad: IP 54.
- Temperatura máxima interior con ventilador: 45 °C.

### 9.14. Diagrama de conexionado del equipo

Se presenta a continuación el esquema general de conexionado de los diferentes elementos constitutivos del banco de capacitores.

Para más detalles ver Planos N° 05, 06, 07 y 08, en Anexo Planos.



**Figura 28** – Conexionado banco de capacitores.



## 10. Inversión Inicial

Se determinará la inversión inicial requerida para llevar a cabo el proyecto, de acuerdo a los siguientes ítems, considerándose valores estimativos y en dólares.

- Subestación transformadora.
- Líneas principales y seccionales.
- Puestas a tierra.
- Banco de capacitores.
- Compensación de luminarias.

Cotización del Dólar según Banco de la Nación Argentina, a la fecha de ejecución del proyecto. Más IVA.

Dólar al momento de realizar los cálculos: 5,05.

En la Tabla VII se detalla los costos estimativos de los ítems mencionados.



	Detalle	Marca	Cant.	Unidad	Dólares
					Costo Neto
<b>Subestación Transformadora</b>	Obra eléctrica (C.E.T.L)	-	1	U.	26600,11
					0,00
<b>Tablero ppal.</b>	Gabinete AnxAlxP: 450x600x150	Genrod/Schneider	1	U.	109,99
	Seccionador bajo carga tripolar NH 00	Merlín Gerín	1	U.	117,01
	Accesorios	-	1	U.	131,41
	Mano de Obra	-	1	U.	415,84
<b>Línea Ppal.</b>	Cable subterráneo 3x120/70	IMSA	70	mts.	6061,21
	Malla protección	-	50	mts.	18,00
	Terminales 120 mm2	LCT	6	U.	33,71
	Accesorios	-	1	U.	99,01
	Terminales 70 mm2	LCT	4	U.	12,82
	Mano de Obra	-	1	U.	2524,75
<b>P.A.T cerco perimetral S.E.T</b>	Jabalina 1/2" x 3000 mm	GEN-ROD	2	U.	54,01
	Caja inspección 25x25x10 fundición	FACBSA	2	U.	67,69
	Conductor cobre desnudo 16 mm2	IMSA	40	mts.	135,37
	Accesorios	-	1	U.	88,21
	Tomacable jabalina 1/2"	FACBSA	2	U.	3,60
	Mano de Obra	-	1	U.	304,95
<b>Banco de Capacitores</b>	Conductor 3(1x25mm2)	IMSA	20	mts.	92,17
	Interruptor Interpact INV 100	Merlín Gerín	1	u.	142,39
	Barra cobre 20x3	-	1	mts.	14,86
	Base portafusible RT18	Sassin	6	U.	16,96
	Fusibles cilíndricos 10x38 - 2A	Sassin	6	U.	5,94
	Seccionador 3NP - 160 A	Siemens	4	U.	466,61
	Fusibles cartucho 3NA6 - T00 - 16A	Siemens	3	U.	20,93
	Fusibles cartucho 3NA6 - T00 - 25A	Siemens	3	U.	20,93
	Fusibles cartucho 3NA6 - T00 - 35A	Siemens	6	U.	41,85
	Contactador LC1-DFK11	Telemecanique	2	U.	239,06
	Contactador LC1-DLK11	Telemecanique	2	U.	423,76
	Capacitor trifásico 5 kV.Ar	Merlín Gerín	1	U.	88,21
	Capacitor trifásico 10 kV.Ar	Merlín Gerín	1	U.	158,78
	Capacitor trifásico 15 kV.Ar	Merlín Gerín	2	U.	655,63
	Regulador Varlogic R6	Merlín Gerín	1	U.	1211,16
	TI 250/5 A	Schneider Electric	1	U.	36,00
	Barra neutro 12 conex. Con base poliamida	Pado	1	U.	12,06
	Barra tierra 12 conex. Con base poliamida	Pado	1	U.	12,06
	Accesorios	-	1	U.	147,61
	Gabinete AnxAlxP: 900x1200x300	Genrod/Schneider	1	U.	521,33
Mano de Obra	-	1	U.	1809,90	
<b>Tabla VII – Costos estimativos</b>					<b>42915,90</b>



## 11. Análisis económico

La evaluación financiera del proyecto de inversión proporcionará una visión de los costos y riesgos asociados con la misma.

Existen diversos métodos para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión en los cuales la norma es comparar los beneficios esperados con la inversión económica del proyecto. Cada método ofrece ventajas y desventajas en su utilización, a continuación se aplicará en Payback o Periodo de Recuperación del Capital.

### 11.1. *Payback definición*

Para la evaluación y el análisis de la viabilidad del proyecto de inversión se recurrirá al 'Payback' o 'Periodo de Recuperación del Capital'. Este método determina el número de periodos necesarios para recuperar la inversión inicial, y su interés radica únicamente en el tiempo de recuperación, no considerando flujos de efectivo después del periodo de Payback.

Se debe tener presente que si bien el método a utilizar es sencillo, tiene el inconveniente de ser estático, es decir, no tiene en cuenta ni el valor actual de los flujos de caja futuros, ni el flujo de caja de los últimos periodos, entendiéndose por Flujo de Caja a las entradas y salidas de dinero en un periodo dado.

Se considerará como **Inversión inicial** al costo total requerido para la ejecución del proyecto de inversión, incluyendo materiales y mano de obra estimativa.

Se definirá como **Flujo de caja positivo** al beneficio económico que se generará al contratar el suministro eléctrico en lugar de producir a partir de Diesel.

$$\text{Payback (meses)} = \frac{\text{Inversión Inicial (total)}}{\text{Flujo de caja positivo (mensual)}}$$



A fin de obtener los datos necesarios para calcular el Payback, se determinará para un periodo de un mes y en condiciones de trabajo normales, los costos de la energía utilizada de acuerdo a las dos alternativas mencionadas.

### Condiciones de trabajo

Se determinarán los costos para un periodo determinado, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Demanda de Potencia **Máxima** Simultánea: 50 kW.
- Periodo de análisis: 1 mes.
- Horas de trabajo mensuales: 160 horas.
- Energía mensual: 8.000 kW.h.

Se considera a los fines del cálculo, y de acuerdo a datos relevados, una **potencia promedio** durante el periodo considerado de **40 kW**, con lo cual la energía consumida mensualmente será de **6400 kW.h**.

### 11.2. Costo mensual con Grupo Electrónico

Características del grupo eléctrico:

- Modelo: C180 D5.
- Potencia: 144 kW.
- Tensión: 380-440 V.
- Frecuencia: 50 Hz.
- Motor: Cummins Diesel 6 cilindros.
- Consumo:
  - 100% de carga (144 kW): 40 litros/hora @1500 R.P.M.
  - 75% de carga (108 kW): 27 litros/hora @1500 R.P.M.
  - 50% de carga (72 kW): 18 litros/hora @1500 R.P.M.
  - 25% de carga (36 kW): 10 litros/hora @1500 R.P.M.

De acuerdo a la demanda de potencia promedio, el grupo trabaja al 27,7 % de su capacidad nominal (40 kW).



En un lapso de una hora, se tiene:

- Energía producida: 40 kW.h.
- Consumo de combustible: 12 litros.
- Costo de combustible: \$ 96 (\$ 8 por litro).

Por lo tanto:

- Costo de la energía: 2,4 \$/kW.h.
- Energía consumida mensualmente: 6.400 kW.h.

**Costo mensual: \$15.360**

### **11.3. Costo mensual con Contratación de Suministro**

De acuerdo a las condiciones de funcionamiento de la planta, la potencia se demandará en la franja horaria correspondiente a “Potencia fuera de pico”, y la energía se consumirá en la franja horaria correspondiente a “Energía en resto”.

- Potencia en pico: 18 a 23 h.
- Potencia fuera de pico: 23 a 18 h.
  
- Energía en pico: 18 a 23 h.
- Energía en valle: 23 a 5 h.
- Energía en resto: 5 a 18 h.

#### **Características del suministro**

- Suministro: T3BT.
- Denominación: Industrial de Media Potencia en Baja Tensión.
- Tensión: 380 V.
- Potencia declarada en pico: 40 kV.A.
- Potencia declarada fuera de pico: 35 kV.A.

Los costos fijos y variables se extrajeron del cuadro tarifario vigente correspondiente a la categoría de consumo T3BT.



Por lo tanto la facturación mensual estimativa será:

	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Unidad	Importe
Cargo perdidas de transformador	0	W	0	\$/kW	0
Cargo Fijo	-	\$	132,9		132,9
Cargo Potencia en Pico	40	kW	50,13	\$/kW-mes	2.005,2
Cargo Pot Fuera de Pico	35	kw	21,48	\$/kW-mes	751,8
Cargo Ex. De Pot. En Pico	0	kw	25,065	\$/kW-mes	0
Cargo Ex. De Pot. Fuera de Pico	15	kw	10,74	\$/kW-mes	161,1
Cargo Var. Energía en Pico	0	kWh	0,3527	\$/kWh	0
Cargo Var. Energía en Valle	0	kWh	0,3423	\$/kWh	0
Cargo Var. Energía en Resto	6400	kWh	0,3471	\$/kWh	2.221,44
					<b>5.272,44</b>

Concepto		Imponible	%	Importe
Ley 11769 Art. 75		5.272,44	6	316,35
Ley Nacional 23681		5.272,44	0,6	31,63
Capitalización		5.272,44	10	527,24
IVA		5.272,44	27	1423,56
Fondo compensador		5.272,44	2	105,45
Ley 11769 Art. 74		5.272,44	0,6	31,63
P. I. Brutos 38/95 BA		5.272,44	1,5	79,09
				<b>2.514,95</b>

<b>TOTAL</b>				<b>7.787,39</b>
--------------	--	--	--	-----------------

**Tabla VIII – Facturación mensual estimativa**



## **Conclusión**

De acuerdo a los cálculos precedentes, instalando la sub estación, se generan beneficios económicos mensuales por \$ 7.570, es decir un 50 % de ahorro mensual. Además se genera un beneficio extra por la eliminación del mantenimiento periódico del generador diesel.

Se debe tener en cuenta que estos valores se refieren a un periodo específico, en el cual se trabaja con la planta de manera intensiva, y que los resultados son teóricos y meramente ilustrativos, pudiendo variar sustancialmente en la realidad de acuerdo a los ciclos de trabajo adoptados (épocas de campaña, de receso, etc.). De todas maneras, reflejan la conveniencia de la instalación de la sub estación transformadora.

### **11.4. Payback resultado**

Costo mensual de la energía utilizada:

- Con grupo electrógeno: \$ 15.360.
- Suministro cooperativa eléctrica: \$ 7.787.
- Flujo de caja positivo: \$ 7.553.
  
- Inversión inicial: u\$s 42.915
- Flujo de caja mensual: u\$s 1.500
- Flujo de caja anual: u\$s 18.000

En función de los cálculos precedentes, se puede observar que el beneficio económico mensual será de \$ 7.787, con lo cual el periodo de Payback será de:

$$\text{Payback (meses)} = \frac{\text{Inversión Inicial (total)}}{\text{Flujo de caja positivo (mensual)}} = \frac{42.915}{1.500} = 28$$

**Payback: 28 meses**



## Memoria de Cálculo

### 12. Cálculo mecánico de conductores

De acuerdo a su ubicación geográfica, la línea se encuentra dentro de la zona climática C, donde las condiciones de temperatura y viento se encuentran citadas en el Reglamento citado, y detalladas en la Tabla N° IX.

Hipótesis	Estado	Temperatura [°C]	Viento [km/h]	Manguito de Hielo [mm]
I	T. máx.	45	0	0
II	T. mín.	-10	0	0
III	T.	15	130	0
IV	T.	-5	30	0
V	T.m.a	16	0	0

**Tabla IX** – Condiciones de carga para cálculo correspondientes a la zona C.

Se utilizarán conductores de aleación de aluminio, para los cuales se considerará una tensión máxima admisible de  $12 \text{ kg/mm}^2$ , para el caso más desfavorable.

Para realizar los cálculos se partirá tomando la hipótesis V como estado inicial (estado 1), a partir del cual se calcularán los parámetros de los demás estados, verificando que en ningún caso se supere el límite máximo admisible de tensión antes mencionado ( $12 \text{ kg/mm}^2$ ). Para el estado V se considerará una tensión de tracción específica de  $4,6 \text{ kg/mm}^2$ , valor correspondiente a una línea con conductores de aleación de aluminio sin elementos antivibratorios.

Para llevar a cabo el cálculo mecánico de los conductores, se aplicarán las ecuaciones de cambio de estado, basadas en la parábola.

La línea a calcular constará de:

- 2 Soportes terminales (T).
- 19 Soportes sostén (S).



Considerando que la longitud de la línea a diseñar es menor a 3.000 metros y estará constituida con postes de hormigón armado, no será necesaria la colocación de Retenciones en tramos rectos.

Como se indicó anteriormente, el conductor a utilizar será de aleación de aluminio desnudo, el cual cuenta con las siguientes características:

- ❖ Sección: 35 [mm<sup>2</sup>].
- ❖ Formación: 7 x 2,52 [mm].
- ❖ Diámetro exterior (De): 7,6 [mm].
- ❖ Peso aproximado ( $\rho_0$ ): 96 [kg/km].
- ❖ Corriente máx. admisible ( $I_{MAX}$ ): 160 [A].
- ❖ Módulo de elasticidad (E): 6.000 [kg/mm<sup>2</sup>].
- ❖ Coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ):  $23 \times 10^{-6}$  [1/°C].

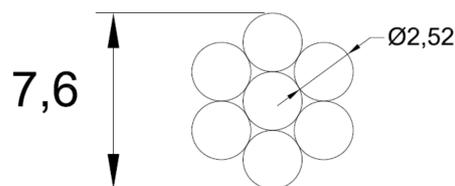


Figura 29 – Formación del cable.

### **Fórmulas y ecuaciones utilizadas**

A continuación se exponen las fórmulas y ecuaciones utilizadas para realizar el cálculo mecánico de conductores:

#### **Sección real de los conductores**

$$S_{real} = n \cdot S_h \quad (1)$$

$$S_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Dónde:

- $n$  : Número de hilos que forman el conductor.
- $S_h$  : Sección de cada hilo que forma el conductor [mm<sup>2</sup>].
- $D$ : Diámetro de los alambres de la formación [mm].



### **Peso o carga por unidad de longitud**

$$\rho = \sqrt{\rho_0^2 + \rho_v^2} \quad (2)$$

Donde:

- $\rho_0$ : Peso por unidad de longitud del conductor [kg/m].
- $\rho_v$ : Carga del viento por unidad de longitud [kg/m].

### **Carga del viento por unidad de longitud**

$$\rho_v = k \cdot c \cdot q \cdot F \quad (3) \quad q = \frac{V^2}{16} \quad (4)$$

Donde:

- $\rho_v$ : Fuerza del viento en dirección horizontal [kg/m].
- $k$ : Coeficiente que contempla desigualdad de velocidad del viento en el vano.
- $c$ : Coeficiente de presión dinámica.
- $q$ : Presión dinámica debida al viento [kg/m<sup>2</sup>].
- $V$ : Velocidad del viento [m/s].
- $F$ : Superficie expuesta normalmente al viento [m<sup>2</sup>].

De acuerdo a la Reglamentación, el valor del coeficiente K se determina en función de la velocidad del viento:

- Si  $V < 30$  m/s (110 km/h).....  $K=0,85$ .
- Si  $V > 30$  m/s (110 km/h).....  $K=0,75$ .

### **Flecha**

$$f = \frac{\rho \cdot a^2}{8 \cdot \sigma \cdot S_r} \quad (4)$$

Donde:

- $\rho$ : Peso por unidad de longitud [kg/m].
- $a$ : Longitud del vano [m].
- $\sigma$ : Tensión [kg/mm<sup>2</sup>].
- $S_r$ : Sección real del conductor [mm<sup>2</sup>].



### **Ecuaciones de Estado**

$$A = E \cdot \alpha \cdot (t_2 - t_1) - \sigma_1 + \frac{E \cdot a^2}{24 \cdot S_r^2} \cdot \frac{\rho_1^2}{\sigma_1} \quad (5)$$

$$B = \frac{E \cdot a^2}{24 \cdot S_r^2} \cdot \rho_2^2 \quad (6) \quad B = \sigma_2^2 \cdot (A + \sigma_2) \quad (7)$$

Donde:

- $E$ : Módulo de elasticidad del material [kg/mm<sup>2</sup>].
- $t_1$ : Temperatura en el estado 1 [°C].
- $t_2$ : Temperatura en el estado 2 [°C].
- $\sigma_1$ : Tensión en el estado 1 [kg/mm<sup>2</sup>].
- $\sigma_2$ : Tensión en el estado 2 [kg/mm<sup>2</sup>].
- $\alpha$ : Coeficiente de dilatación térmica [1/°C].

### **Vano Crítico**

$$a_{cr} = S_r \cdot \sigma_{\max} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (t_{II} - t_{III})}{(\rho_{II}^2 - \rho_{III}^2)}} \quad (8)$$

Donde:

- $S_r$ : Sección real del conductor [mm<sup>2</sup>].
- $\sigma_{\max}$ : Tensión máxima admisible [kg/mm<sup>2</sup>].
- $\alpha$ : Coeficiente de dilatación térmica [1/°C].
- $t$ : Temperatura correspondiente a cada estado [°C].
- $\rho$ : Carga total por unidad de longitud correspondiente a cada estado [kg/m].

### **Vano ideal de regulación**

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum a_i}} \quad (9)$$

Donde:

$a_i$ : Longitud de los vanos que conforman el tramo en consideración [m].



### **Resultados Obtenidos**

Sección real del conductor

$$S_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2,52^2}{4} \Rightarrow S_h = 4,99 [mm^2]$$

$$S_{real} = n \cdot S_h = 7 \cdot 4,99 \Rightarrow \boxed{S_{real} = 34,91 [mm^2]}$$

Como primer paso se determinó el valor correspondiente al vano ideal de regulación para el tramo en consideración:

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum a_i}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 80^3}{20 \cdot 80}} \Rightarrow \boxed{a_r = 80 [m]}$$

Luego se realizaron los cálculos correspondientes arribándose a los resultados que se hallan tabulados en la Tabla X.

Hipótesis	Temp. [°C]	Viento [km/h]	$\rho_0$ [kg/m]	$\rho_v$ [kg/m]	$\rho$ [kg/m]	$\sigma$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	Flecha [m]
I	45	0	0,096	0	0,096	2,3	0,96
II	-10	0	0,096	0	0,096	7,8	0,28
III	15	130	0,096	0,511	0,52	8,77	1,36
IV	-5	30	0,096	0,031	0,101	7,18	0,32
V	16	0	0,096	0	0,096	4,6	0,48

**Tabla X** - Tensión y flecha para los distintos estados.

Obteniéndose un vano crítico de:

$$a_{cr} = 34,91 \cdot 8,77 \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 23 \cdot 10^{-6} \cdot (-10 - 15)}{(0,137^2 - 0,5291^2)}} \Rightarrow \boxed{a_{cr} = 70,37 [m]}$$

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el estado más desfavorable es el correspondiente al de máximo viento, verificándose que la relación existente entre el vano ideal de regulación y el vano crítico es  $a_r > a_{cr}$ .



### 13. Cálculo mecánico de postes y fundación

Se parten de los siguientes datos y condiciones:

#### Datos de la línea

- Postes: Hormigón Armado.
- Crucetas: Hormigón Armado.
- Estructuras Simples: Directamente empotradas en el terreno o con base de hormigón.
- Estructuras especiales: Con base de hormigón simple.
- Tipo de aislación: Rígida.

#### Datos del terreno

La línea será emplazada en una región con suelos rígidos ( $C > 5 \text{ kg/cm}^3$ ), los cuales se pueden ubicar dentro de la categoría C “Arcilla medio dura” de la Tabla 8.6 de la reglamentación utilizada.

Por lo tanto las características propias del terreno son:

- Índice de Compresibilidad (C):  $6 \times 10^6 \text{ kg/m}^3$  (A 2 m de profundidad).
- Peso específico de la tierra ( $\gamma_t$ ):  $1700 \text{ kg/m}^3$ .
- Ángulo de tierra gravante ( $\beta$ ):  $8^\circ$ .
- Tensión Admisible del terreno ( $\sigma_{adm}$ ):  $1,8 \text{ kg/cm}^2$ .
- Ángulo de fricción interna ( $\delta$ ):  $25^\circ$ .
- Coeficiente de fricción terreno/hormigón ( $\mu$ ): 0,4.

Las diferentes hipótesis que se tendrán en cuenta en el cálculo de los soportes, serán las que se especifican en la Tabla XX, extraída del Reglamento Técnico de Obras de Electrificación Rural.



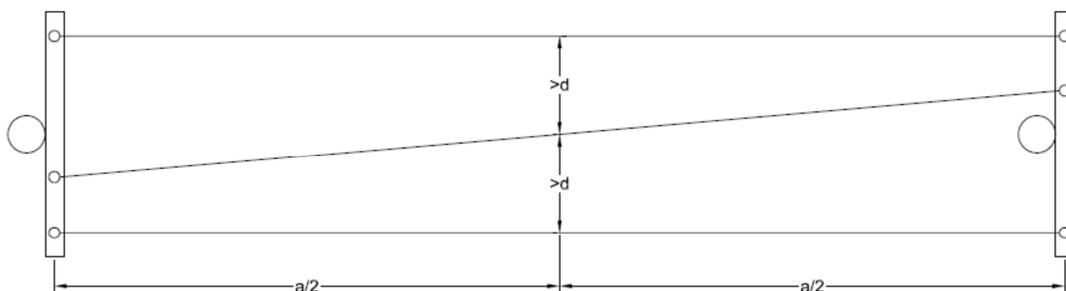
## 14. Diseño de Crucetas

Se debe garantizar una distancia mínima de seguridad de separación entre conductores en el centro del vano. Para conductores de secciones iguales, material idéntico e igual flecha, se aplicará la fórmula:

$$d = k \cdot \sqrt{f_{\max} + l_c} + \frac{U_N}{150}$$

Donde:

- $d$  : Separación entre conductores en la mitad del vano [m], en el punto de flecha máxima y nunca menor que  $k$  en metros.
- $k$  : Factor dependiente del ángulo de inclinación de los conductores en el viento, indicado en la tabla 'Ángulo de inclinación y factor K', de la reglamentación.
- $f_{\max}$  : Flecha máxima de los conductores, sin viento [m].
- $l_c$  : Largo de la cadena de aisladores [m]. En caso de aisladores rígidos y cadenas de retención  $l_c = 0 m$ .
- $U_N$  : Tensión nominal de la línea [kV].



**Figura 30** – Distancia a mitad del vano.

Ángulo de inclinación de los conductores con la máxima velocidad de viento:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho_v}{\rho_0} = \frac{0,511}{0,096} \Rightarrow \alpha = 79,36^\circ$$

Para conductores dispuestos al mismo nivel uno al lado del otro, con un ángulo de inclinación mayor a  $65^\circ$ , valor del factor  $k = 0,7$



De Tabla X,  $f_{\max} = 0,96 \text{ m}$ , con lo cual la distancia mínima obtenida es:

$$d_{\min} = 0,7 \cdot \sqrt{0,96+0} + \frac{13,2}{150} \Rightarrow \boxed{d_{\min} = 0,77 \text{ [m]}}$$

De acuerdo con esto, la longitud de la cruceta necesaria vendrá dada por:

$$L_c \geq 2 \cdot d_{\min}$$

$$L_c \geq 1,54$$

Con lo cual se adopta una **cruceta de H<sup>o</sup> A<sup>o</sup> de 1,6 metros y 225 kg de peso.**



## 15. Diseño de Soporte Sostén (S)

### 15.1. Hipótesis de Cálculo

#### Hipótesis 1a.

Carga del viento máximo en dirección perpendicular a la línea, sobre los cables en ambos semivanos adyacentes, sobre poste, crucetas, aisladores y accesorios.

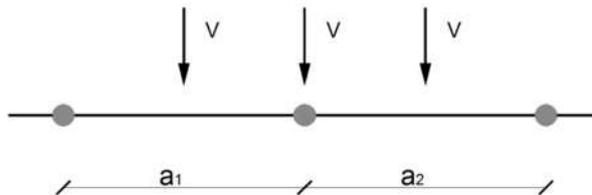


Figura 31 - Fuerza del viento sobre los conductores.

#### Hipótesis 1b.

En caso de suspensión: carga horizontal igual a la mitad del tiro máximo unilateral del conductor que dé el esfuerzo más desfavorable.

En nuestro caso el tendido se realizará con aislación rígida, por lo tanto procederemos en el cálculo respetando la Hipótesis 1a.

### 15.2. Determinación de la altura del poste (Sostén)

De acuerdo al Reglamento, la altura mínima de los conductores en zona rural y para una tensión de 13,2 kV es de 5,5 metros.

La altura del poste será entonces:

$$hp_{\min} \geq e_{\min} + hl_{\min} + f_{\max} - h_{\text{aisl}} + d_{cc}$$

Donde:

- $hp_{\min}$  : Altura mínima del poste [m].
- $e_{\min}$  : Longitud mínima de empotramiento [m].
- $hl_{\min}$  : Altura mínima de los conductores [m].
- $f_{\max}$  : Flecha máxima [m].



- $h_{aisl}$  : Altura de los aisladores [m].
- $d_{cc}$  : Distancia cruceta-cima del poste [m].

En primer lugar se realizarán los cálculos con postes de hormigón armado directamente enterrados, para lo cual se tiene:

$$e_{\min} = \frac{hp_{\min}}{10} + 0,6$$

La altura de los aisladores rígidos será de:

$$h_{aisl} = 0,15 \text{ m}$$

Y como el borde superior de la cruceta coincide con el extremo del poste, se tiene:

$$d_{cc} = 0 \text{ m.}$$

$$hp_{\min} \geq \frac{hp_{\min}}{10} + 0,6 + hl_{\min} + f_{\max} - h_{aisl} + d_{cc}$$

$$hp_{\min} \geq \frac{10}{9} (0,6 + hl_{\min} + f_{\max} - h_{aisl} + d_{cc})$$

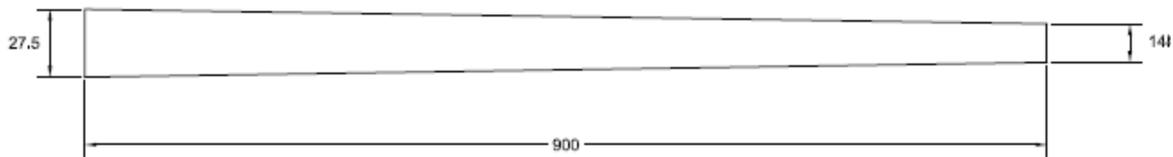
$$hp_{\min} \geq \frac{10}{9} (0,6 + 5,5 + 1,36 - 0,15 + 0) \Rightarrow \boxed{hp_{\min} \geq 8,12 \text{ [m]}}$$

Se seleccionó un poste de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup> con las siguientes características:

Altura (m)	9
Diámetro en la cima (cm)	14
Carga de Rotura (kg)	450
Peso (kg)	655

**Tabla XI** - Características soporte sostén.

Es decir, un poste de **H<sup>o</sup>A<sup>o</sup> 9/150/3** (altura/fuerza nominal/coeficiente de seguridad)



**Figura 32** - Dimensiones soporte sostenido.

### 15.3. Cálculo a la rotura del poste (Sostén)

Se verificará la resistencia del poste seleccionado ante las condiciones de viento máximo. Para establecer la fuerza ejercida por el viento sobre la estructura, se tienen en cuenta las fuerzas ejercidas sobre el poste, los conductores y los accesorios correspondientes. Es decir:

$$F_{vt} = F_{vp} + F_{vc} + F_{vacc}$$

#### **Carga del viento sobre el poste**

Primero se determina la fuerza que ejerce el viento sobre el poste, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{vp} = k \cdot c \cdot q \cdot (\varnothing_e + 2\varnothing_{cima}) \cdot \frac{h_{libre}}{6}$$

Donde:

- $F_{vp}$  : Fuerza del viento sobre el poste [kg].
- $k$  : Coeficiente que contempla la desigualdad del viento a lo largo del vano.
- $c$  : Coeficiente de presión dinámica.
- $q$  : Presión dinámica debida al viento [kg/m<sup>2</sup>].
- $\varnothing_e$  : Diámetro en el empotramiento [m].
- $\varnothing_{cima}$  : Diámetro en la cima [m].
- $h_{libre}$  : Altura libre del poste ( $h_{p_{min}} - e_{min}$ ) [m].

El valor de k para estructuras de soporte es 1.

El coeficiente de presión dinámica se determina de acuerdo a la Tabla 7.4 de la reglamentación rural, para elementos cilíndricos de estructura  $c = 0,7$ .



Presión dinámica debida al viento, considerando viento de 130 km/h (36,11 m/s).

$$q = \frac{V^2}{16} = \frac{36,11^2}{16} \Rightarrow q = 81,5 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

La altura libre para este caso será:

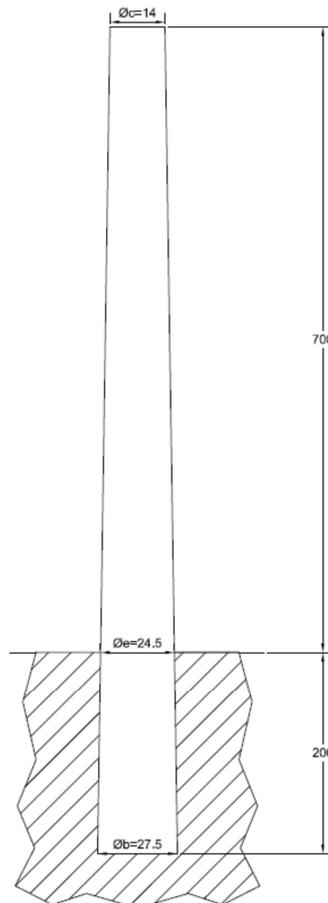
$$h_{libre} = (hp - e)$$

$$e = \frac{hp}{10} + 0,6 = \frac{9}{10} + 0,6 \Rightarrow e = 1,5[m]$$

Se adopta  $e = 2$  metros, con lo cual:

$$h_{libre} = (9 - 2) = 7[m]$$

El diámetro en el empotramiento depende del valor del empotramiento mínimo  $e$ .



**Figura 33 - Dimensiones soporte sostén.**



$$\varnothing_e = 0,14 + 1,5 \cdot (hp - e)$$

$$\varnothing_e = 0,14 + 0,015 \cdot (9 - 2) \Rightarrow \boxed{\varnothing_e = 0,245 [m]}$$

Finalmente se obtiene el valor de la fuerza del viento sobre el poste:

$$F_{vp} = 1 \cdot 0,7 \cdot 81,5 \cdot (0,245 + 2 \cdot 0,14) \cdot \frac{7}{6} \Rightarrow \boxed{F_{vp} = 34,9 [kg]}$$

### **Fuerza del viento sobre los conductores**

Una vez determinada la fuerza que ejerce el viento sobre el poste, se procede a determinar la fuerza del viento sobre los conductores, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{vc} = \rho_{VIII} \cdot n_{conduc} \cdot \left( \frac{a_1 + a_2}{2} \right)$$

Donde:

- $F_{vc}$  : Fuerza del viento sobre los conductores [kg].
- $\rho_{VIII}$  : Fuerza del viento sobre los conductores por unidad de longitud [kg/m].
- $n_{conduc}$  : Número de conductores.
- $a_1$  : Longitud del vano [m].

$$F_{vc} = 0,511 \cdot 3 \cdot \left( \frac{80 + 80}{2} \right) \Rightarrow \boxed{F_{vc} = 122,6 [kg]}$$

### **Fuerza del viento sobre accesorios**

La fuerza del viento sobre los accesorios, crucetas y aisladores se aproxima a:

$$F_{vacc} = 10 [kg]$$

Por lo tanto la fuerza ejercida por el viento en la estructura será:

$$F_{vt} = 34,9 + 122,6 + 10 \Rightarrow \boxed{F_{vt} = 167,5 [kg]}$$



El Reglamento exige que los coeficientes de seguridad para el cálculo de soportes de HºAº deben tener los valores siguientes:

- Cargas normales: 2
- Cargas extraordinarias: 1,65

Para evitar la rotura del poste, se debe verificar entonces:

$$C_s = \frac{F_R}{F_V} \geq 2$$

Donde:

- $C_s$  : Coeficiente de seguridad obtenido.
- $F_R$  : Fuerza o carga de rotura [kg].
- $F_V$  : Fuerza del viento sobre la estructura [kg].

$$C_s = \frac{F_R}{F_V} = \frac{450}{167,5} = 2,69 \geq 2$$

Soporta las solicitaciones externas sin romperse, es decir se verifica la aptitud del poste seleccionado.

#### 15.4. Cálculo al vuelco de la estructura (Sostén)

El terreno de emplazamiento es un terreno rígido, por consiguiente para verificar la estabilidad de los soportes se recurrirá al método de Sulzberger, el cual expresa:

$$M_s + M_B > S \cdot M_v$$

Donde:

- $M_s$  : Momento de encastramiento lateral [kg.m].
- $M_B$  : Momento de reacción de fondo [kg.m].
- $M_v$  : Momento de vuelco [kg.m].



- $S$  : Coeficiente de Sulzberger, depende de la relación  $M_s/M_b$  , según Tabla XII.

Ms/Mb	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
S	1,5	1,383	1,367	1,26	1,208	1,15	1,115	1,075	1,04	1,017	1

**Tabla XII** - Coeficiente de Sulzberger.

### **Peso total de la estructura**

El peso de toda la estructura es el que resulta de sumar el peso del poste, el de la cruceta, de los aisladores y accesorios, el de los conductores en los semivanos adyacentes, y de la tierra gravante:

$$G_t = G_p + G_c + G_{cond} + G_{acces} + G_{tg}$$

### **Peso de los conductores**

$$G_{cond} = n_{cond} \cdot \rho_0 \cdot \frac{(a_1 + a_2)}{2}$$

Donde:

- $n_{cond}$  : Número de conductores soportados por la estructura.
- $\rho_0$  : Peso por unidad de longitud de los conductores [kg/m].
- $a_1, a_2$  : Longitud de los vanos adyacentes al soporte [m].

$$G_{cond} = 3 \cdot 0,096 \cdot \frac{(80 + 80)}{2} \Rightarrow \boxed{G_{cond} = 23,04 [kg]}$$

### **Peso de la tierra gravante**

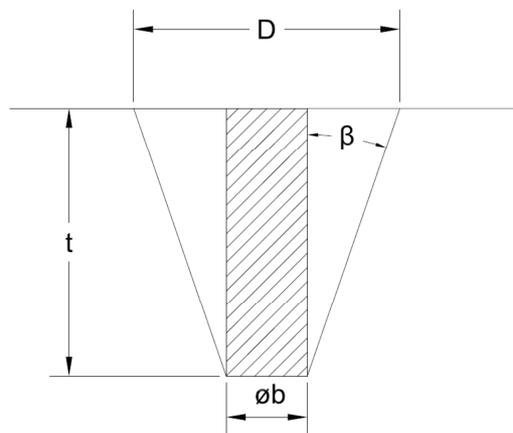
$$G_{tg} = \left[ \frac{\pi t}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d_b + d_b^2) - \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot t \right] \gamma_{tierra}$$

$$D = 2 \cdot t \cdot \tan(\beta) + d_b$$



Donde:

- $G_{tg}$  : Peso de la tierra gravante [kg].
- $t$  : Profundidad de empotrado [m] (2 m).
- $D$  : Diámetro base cono [m].
- $d_b$  : Diámetro de la base del poste [m] (0,275 m).
- $d_e$  : Diámetro del poste a la altura del empotramiento [m] (0,245 m).
- $\beta$  : Ángulo de la tierra gravante [°] ( $8^\circ$ ).
- $\gamma_{tierra}$  : Peso específico de la tierra [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ( $1.700 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).



**Figura 34** - Tierra gravante para poste directamente enterrado.

$$D = 2 \cdot 2 \cdot \tan(8^\circ) + 0,275 \Rightarrow D = 0,84 [m]$$

$$G_{tg} = \left[ \frac{\pi \cdot 2}{12} \cdot (0,84^2 + 0,84 \cdot 0,275 + 0,275^2) - \frac{\pi \cdot 0,245^2}{4} \cdot 2 \right] \cdot 1700 \Rightarrow \boxed{G_{tg} = 740,7 [kg]}$$

### **Peso total de la estructura**

$$G_t = G_p + G_c + G_{cond} + G_{acces} + G_{tg}$$

$$G_t = 655 + 225 + 23 + 10 + 740 \Rightarrow \boxed{G_t = 1.653 [kg]}$$



Calculamos ahora  $tg(\alpha_1)$ :

$$tg(\alpha_1) = \frac{8,8 \cdot 0,4 \cdot 1.653}{6 \times 10^6 \cdot 1,5^2 \cdot 0,275} \Rightarrow \boxed{tg(\alpha_1) = 0,0015 \leq 0,01}$$

Con el valor hallado de  $tg(\alpha_1)$ , se concluye que la estructura pivotará en torno al centro de masa, ubicado a  $1/3t$  desde la base y  $2/3t$  desde el nivel del suelo. Esto determina que las ecuaciones a utilizar para el momento de encastramiento lateral y el momento de vuelco son:

$$M_s = \frac{d \cdot t^3 \cdot C_T}{52,8} tg(\alpha)$$

$$M_v = F_v \left( h_l + \frac{2}{3}t \right)$$

Donde se fija el valor de  $tg(\alpha)$  en 0,01 valor que limita la aplicación del método de Sulzberger.

$$M_s = \frac{0,275 \cdot 2^3 \cdot 6 \times 10^6}{52,8} \cdot 0,01 \Rightarrow \boxed{M_s = 2.500 \text{ [kg.m]}}$$

$$M_v = 167,5 \cdot \left( 7 + \frac{2}{3} \cdot 2 \right) \Rightarrow \boxed{M_v = 1.396 \text{ [kg.m]}}$$

Para el momento de reacción de fondo primero hay que hallar el valor de  $tg(\alpha_2)$  mediante la siguiente expresión:

$$tg(\alpha_2) = \frac{5,1 \cdot G_t}{d^3 \cdot C_B}$$

Consideramos  $C_B = C_t$

$$tg(\alpha_2) = \frac{5,1 \cdot 1.653}{0,275^3 \cdot 6 \times 10^6} \Rightarrow \boxed{tg(\alpha_2) = 0,067 > 0,01}$$



Por lo que el momento de fondo obtenido es:

$$M_B = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \cdot C_b \cdot \tan(\alpha)$$

$$M_B = \frac{\pi \cdot 0,275^4}{64} \cdot 6 \times 10^6 \cdot 0,01 \Rightarrow \boxed{M_B = 16,84 \text{ [kg.m]}}$$

El coeficiente de Sulzberger, de acuerdo a Tabla XII:

$$\frac{M_s}{M_B} = \frac{2500}{16,84} \geq 1 \quad \Rightarrow \quad S = 1$$

Finalmente se verifica que se cumpla la ecuación de Sulzberger:

$$M_s + M_B = 2.516 \text{ [kg.m]}$$

$$M_v = 1.396 \text{ [kg.m]}$$

Sulzberger indica:  $M_s + M_B > S \cdot M_v$

Se verifica la ecuación de Sulzberger, el poste directamente enterrado soporta las sollicitaciones externas y no se vuelca.

### 15.5. Cálculo al hundimiento de la estructura (Sostén)

Para evitar que el poste se hunda en el terreno se debe verificar que:

$$\sigma = \frac{G_T}{A_b} \leq \sigma_{adm}$$

Donde:

- $G_T$ : Peso de la estructura, incluye el peso del poste, cruceta, conductores y accesorios [kg].
- $A_b$ : Área de la base del poste [cm<sup>2</sup>].
- $\sigma_{adm}$ : Tensión admisible del terreno [kg/cm<sup>2</sup>].



$$A_b = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = \frac{\pi \cdot 27,5^2}{4} \Rightarrow A_b = 594 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$\sigma = \frac{G_T}{A_b} = \frac{913}{594} = 1,5 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$$

$$\sigma = 1,5 \text{ [kg / cm}^2\text{]} \leq \sigma_{adm} = 1,8 \text{ [kg / cm}^2\text{]}$$

Por lo tanto el terreno soporta el peso de la estructura sin hundirse.

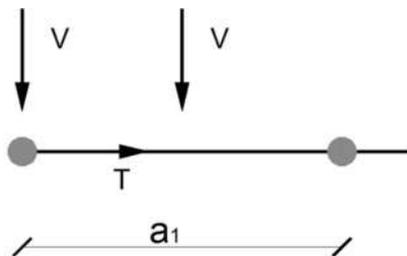


## 16. Soporte Terminal

### 16.1. Hipótesis de Cálculo

#### Hipótesis 5a.

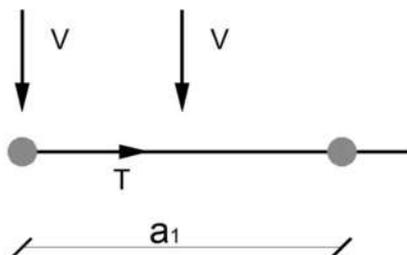
Tiro máximo de todos los cables, simultáneamente carga del viento correspondiente al estado de sollicitación máxima de los conductores, sobre cables en el semivano adyacente, sobre poste, cruceta, aisladores y accesorios en dirección perpendicular a la línea.



**Figura 35** - Tiro máximo y carga del viento sobre el soporte terminal.

#### Hipótesis 5b.

Tiro de todos los cables correspondientes al estado del viento máximo y simultáneamente carga del viento máximo sobre cables en el semivano adyacente, sobre postes, cruceta, aisladores y accesorios en dirección perpendicular a la línea.



**Figura 36** - Tiro y carga del viento máximo sobre el soporte terminal.

Nota: Si el vano es mayor que el crítico, las hipótesis 5a y 5b son coincidentes.



### Esfuerzos sobre el poste

El vano real de la línea en estudio es de 80 metros, y el vano crítico de 70,37, con lo cual las hipótesis 5a y 5b serán coincidentes.

En función del resultado obtenido para el soporte sostén, para el soporte terminal se seleccionó un poste de H<sup>0</sup>A<sup>0</sup> con las siguientes características:

Altura (m)	9
Diámetro en la cima (cm)	26
Carga de Rotura (kg)	2.100
Peso (kg)	1.395

**Tabla XIII** – Características soporte terminal.

Es decir, un poste de **H<sup>0</sup>A<sup>0</sup> 9/700/3** (altura/fuerza nominal/coeficiente de seguridad)

Éste será verificado y en caso de no cumplir con los requerimientos necesarios, se seleccionará un poste de dimensiones superiores.

## 16.2. Cálculo a la rotura del poste (Retención)

### Hipótesis 5.b

#### Tiro provocado por los conductores

El valor de tensión correspondiente al estado de viento máximo ( $\sigma_{III}$ ), se encuentra en la Tabla X, dando como resultado un tiro de:

$$T_{III} = n_{cond} \cdot S_r \cdot \sigma_{III}$$

$$T_{III} = 3 \cdot 34,91 \cdot 8,77 \Rightarrow \boxed{T_{III} = 918 \text{ [kg]}}$$



### Carga del viento sobre la estructura

La fuerza del viento sobre la estructura viene dada por la fórmula:

$$F_{vt} = F_{vp} + F_{vc} + F_{vacc}$$

### **Carga del viento sobre el poste**

Primero se determina la fuerza que ejerce el viento sobre el poste, a partir de la siguiente expresión:

$$F_{vp} = k \cdot c \cdot q \cdot (\varnothing_e + 2\varnothing_{cima}) \cdot \frac{h_{libre}}{6}$$

Donde:

- $F_{vp}$  : Fuerza del viento sobre el poste [kg].
- $k$  : Coeficiente que contempla la desigualdad del viento a lo largo del vano.
- $c$  : Coeficiente de presión dinámica.
- $q$  : Presión dinámica debida al viento [kg/m<sup>2</sup>].
- $\varnothing_e$  : Diámetro en el empotramiento [m].
- $\varnothing_{cima}$  : Diámetro en la cima [m].
- $h_{libre}$  : Altura libre del poste ( $h_{p_{min}} - e_{min}$ ) [m].

El valor de k para estructuras de soporte es 1.

El coeficiente de presión dinámica se determina de acuerdo a la Tabla 7.4 de la reglamentación utilizada, para elementos cilíndricos de estructura tenemos que  $c = 0,7$ .

Presión dinámica debida al viento, considerando viento de 130 km/h (36,11 m/s).

$$q = \frac{V^2}{16} = \frac{36,11^2}{16} \Rightarrow \boxed{q = 81,5 \frac{kg}{m^2}}$$



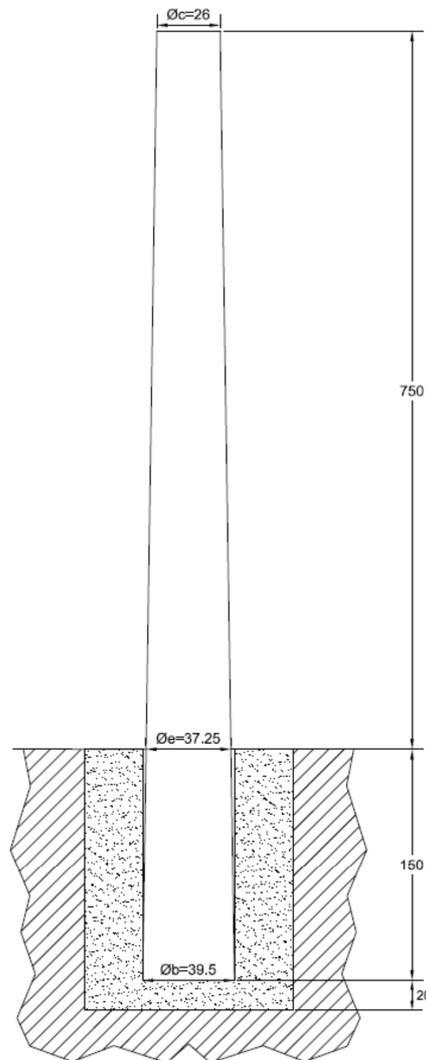
Los soportes terminales tendrán fundación de hormigón, la altura libre para este caso será:

$$e = \frac{hp}{11} = \frac{9}{11} \Rightarrow e = 0,82[m]$$

Se adopta  $e = 1,5$  metros, de manera que la altura libre será:

$$h_{libre} = (9 - 1,5) = 7,5[m]$$

El diámetro en el empotramiento depende del valor del empotramiento mínimo  $e$



**Figura 37 - Dimensiones soporte terminal.**



$$\varnothing_e = 0,26 + 1,5 \cdot (hp - e)$$

$$\varnothing_e = 0,26 + 0,015 \cdot (9 - 1,5) \Rightarrow \boxed{\varnothing_e = 0,37 [m]}$$

Finalmente se obtiene el valor de la fuerza del viento sobre el poste:

$$F_{vp} = 1 \cdot 0,7 \cdot 81,5 \cdot (0,37 + 2 \cdot 0,26) \cdot \frac{7,5}{6} \Rightarrow \boxed{F_{vp} = 63,5 [kg]}$$

### **Fuerza del viento sobre los conductores**

Una vez determinada la fuerza que ejerce el viento sobre el poste, se procede a determinar la fuerza del viento sobre los conductores, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{vc} = \rho_{VIII} \cdot n_{conduc} \cdot \left( \frac{a_1 + a_2}{2} \right)$$

Donde:

- $F_{vc}$ : Fuerza del viento sobre los conductores [kg].
- $\rho_{VIII}$ : Fuerza del viento sobre los conductores por unidad de longitud [kg/m].
- $n_{conduc}$ : Número de conductores.
- $a_1$ : Longitud del vano [m].

Como es un soporte terminal, solo se tiene un semivano donde actúa el viento.

$$F_{vc} = 0,511 \cdot 3 \cdot \left( \frac{80 + 0}{2} \right) \Rightarrow \boxed{F_{vc} = 61 [kg]}$$

### **Fuerza del viento sobre accesorios**

La fuerza del viento sobre los accesorios, crucetas y aisladores se aproxima a:

$$F_{vacc} = 10 [kg]$$



Por lo tanto la fuerza ejercida por el viento en la estructura será:

$$F_{vt} = 63,5 + 61 + 10 \Rightarrow \boxed{F_{vt} = 134,5 [kg]}$$

Por lo tanto la resultante real de esfuerzos:

$$R = \sqrt{T_{III}^2 + F_{vIII}^2}$$

$$R = \sqrt{T_{III}^2 + F_{vIII}^2} = \sqrt{918^2 + 134,5^2} \Rightarrow \boxed{R = 927,8 [kg]}$$

El Reglamento exige que los coeficientes de seguridad para el cálculo de soportes de H<sup>0</sup>A<sup>0</sup> deben tener los valores siguientes:

- Cargas normales: 2.
- Cargas extraordinarias: 1,65.

Para evitar la rotura del poste, se debe verificar entonces:

$$C_s = \frac{F_r}{F_R} \geq 2$$

Donde:

- $C_s$  : Coeficiente de seguridad obtenido.
- $F_r$  : Fuerza o carga de rotura [kg].
- $F_R$  : Fuerza resultante sobre la estructura [kg].

$$C_s = \frac{F_r}{F_R} = \frac{2100}{927,8} = 2,26 \geq 2$$

Se verifica así la aptitud del poste seleccionado.

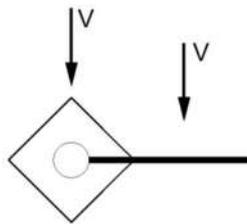


### 16.3. Cálculo de la fundación (Retención)

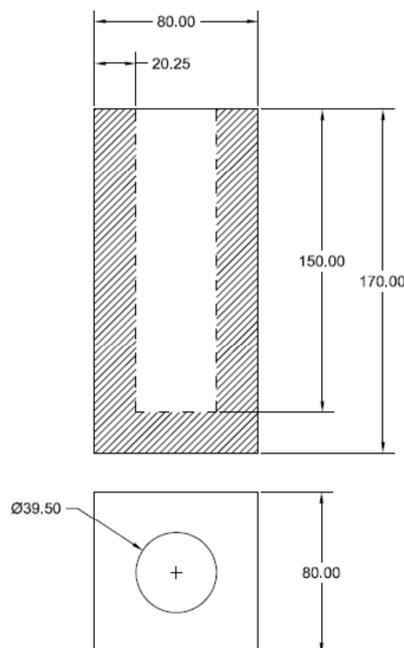
En lo que respecta a las dimensiones de las fundaciones de hormigón el Reglamento exige las siguientes limitaciones:

- Empotramiento mínimo del soporte de hormigón armado dentro del macizo, 1/11 de la longitud total.
- El espesor de la pared de las fundaciones será como mínimo de 0,15 m.
- El espesor del fondo: la parte del macizo que excede los 1/11 de empotramiento del soporte tendrá como mínimo 0,20 m y como máximo 1/3 de la altura de la fundación.

Teniendo en cuenta estos parámetros se fijaron las dimensiones de la fundación, la cual tendrá una sección cuadrada de 0,8 m de lado y una profundidad de 1,7 m. La forma de la base y su ubicación respecto al trazado de la línea se muestra en la Figura 38 y 39:



**Figura 38** - Disposición de la fundación del soporte terminal.



**Figura 39** - Dimensiones de la fundación S.R.



#### 16.4. Cálculo al vuelco de la estructura (Retención)

El terreno de emplazamiento es un terreno rígido, por consiguiente para verificar la estabilidad de los soportes se recurrirá al método de Sulzberger, el cual expresa:

$$M_s + M_b > S \cdot M_v$$

Donde:

- $M_s$ : Momento de encastramiento lateral [kg.m].
- $M_b$ : Momento de reacción de fondo [kg.m].
- $M_v$ : Momento de vuelco [kg.m].
- $S$ : Coeficiente de Sulzberger, depende de la relación  $M_s/M_b$ , según Tabla XII.

#### **Peso total de la estructura**

El peso de toda la estructura es el que resulta de sumar el peso del poste, el de la cruceta, de los aisladores y accesorios, el de los conductores en los semivanos adyacentes, de la fundación, de la tierra gravante y de la fundación:

$$G_t = G_p + G_c + G_{cond} + G_{acces} + G_{tg} + G_H$$

#### **Peso de la tierra gravante**

$$G_{tg} = \left[ \frac{x^2 \cdot h}{3} - \frac{a^2 \cdot l}{3} - a^2 \cdot t \right] \gamma_{tierra}$$

$$D = a + 2 \cdot t \cdot \tan(\beta)$$

Donde:

- $G_{tg}$ : Peso de la tierra gravante [kg].
- $t$ : Profundidad de empotrado [m] (1,7 m).
- $x$ : Lado de la base del cono [m].



- $a$ : Lado de la fundación cuadrada [m] (0,8 m).
- $\beta$ : Ángulo de la tierra gravante [°] ( $8^\circ$ ).
- $\gamma_{tierra}$ : Peso específico de la tierra [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ( $1.700 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

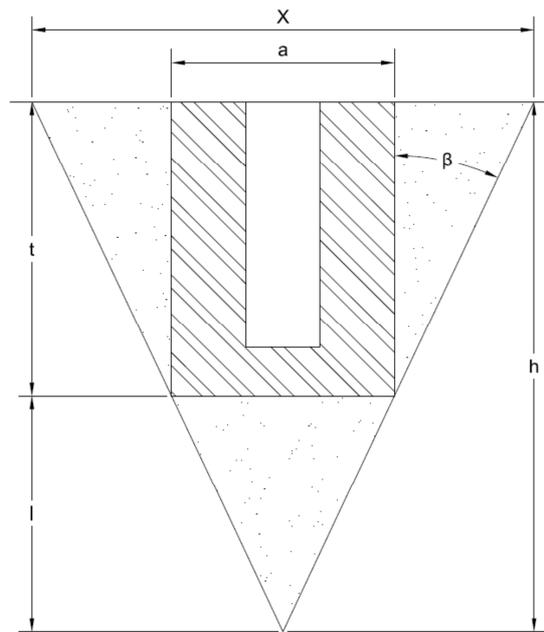


Figura 40 - Tierra gravante para poste con fundación.

$$l = \frac{a}{2 \cdot \tan(\beta)} = \frac{0,8}{2 \cdot \tan(8^\circ)} \Rightarrow l = 2,85 [m]$$

$$h = t + l = 1,7 + 2,85 \Rightarrow h = 4,5 [m]$$

$$X = 0,8 + 2 \cdot 1,7 \cdot \tan(8^\circ) \Rightarrow X = 1,27 [m]$$

$$G_{tg} = \left[ \frac{1,27^2 \cdot 4,5}{3} - \frac{0,8^2 \cdot 2,85}{3} - 0,8^2 \cdot 1,7 \right] \cdot 1.700 \Rightarrow \boxed{G_{tg} = 1.229 [kg]}$$



### **Peso de los conductores**

$$G_{cond} = n_{cond} \cdot \rho_0 \cdot \frac{(a_1 + a_2)}{2}$$

Donde:

- $n_{cond}$  : Número de conductores soportados por la estructura.
- $\rho_0$  : Peso por unidad de longitud de los conductores [kg/m].
- $a_1, a_2$  : Longitud de los vanos adyacentes al soporte [m].

Como es un soporte terminal, se tiene un solo vano adyacente con conductores.

$$G_{cond} = 3 \cdot 0,096 \cdot \frac{(80 + 0)}{2} \Rightarrow \boxed{G_{cond} = 11,5 \text{ [kg]}}$$

### **Peso de la cruceta**

La cruceta a utilizar será de las mismas dimensiones calculadas para los soportes sostén, pero de construcción más fuerte, se extrae de catálogo una cruceta con estas características:

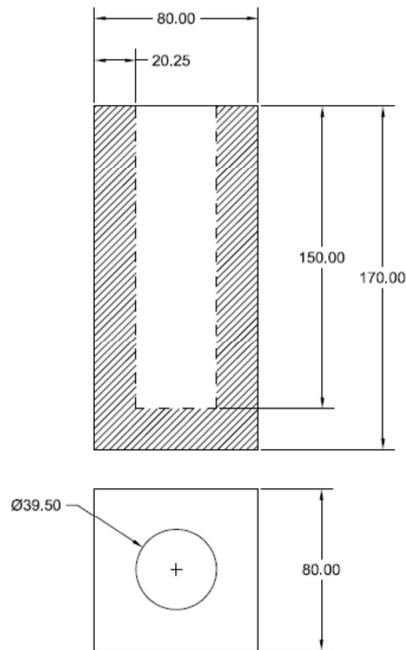
**Cruceta de Hº Aº de 1,6 metros y 385 kg de peso.**

### **Peso de la fundación**

Peso específico del hormigón:

$$\gamma_H = 2.200 \text{ [kg / m}^3 \text{]}$$

Dimensiones de la fundación:



**Figura 41** – Dimensiones fundación soporte retención.

$$Vol_H = (l \cdot l \cdot h) - \left( \frac{\pi \cdot \phi_e \cdot h_1}{4} \right)$$

Donde:

- $Vol_H$ : Volumen total de la fundación [ $m^3$ ].
- $l$ : Lado de la fundación [m].
- $h$ : Profundidad de la fundación [m].
- $\phi_e$ : Diámetro del empotramiento [m].
- $h_1$ : Profundidad del hueco de la fundación [m].

$$Vol_H = (0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,7) - \left( \frac{\pi \cdot 0,395^2 \cdot 1,5}{4} \right) \Rightarrow Vol_H = 0,9 [m^3]$$



Por lo tanto el peso de la fundación será:

$$G_H = \gamma_H \cdot Vol_H$$

$$G_H = 2.200 \cdot 0,9 \Rightarrow \boxed{G_H = 1.980 [kg]}$$

### **Peso total de la estructura**

$$G_t = G_p + G_c + G_{cond} + G_{acces} + G_{tg} + G_H$$

$$G_t = 1.395 + 385 + 11,5 + 10 + 1.229 + 1.980 \Rightarrow \boxed{G_t = 5.010 [kg]}$$

Calculamos ahora  $tg(\alpha_1)$ :

$$tg(\alpha_1) = \frac{4,5 \cdot \mu \cdot G_t}{C_T \cdot t^2 \cdot a}$$

Donde:

- $\mu$ : Coeficiente de fricción terreno/hormigón (0,4)
- $G_t$ : Peso total de la estructura [kg].
- $C_T$ : Coeficiente de compresibilidad a la profundidad t [kg/m<sup>3</sup>].
- $t$ : Profundidad de empotrado [m].
- a: Lado del rectángulo [m].

A 2 metros de profundidad:  $C_t = 6 \times 10^6$ .

A 1,7 metros de profundidad:  $C_t = 5,1 \times 10^6$ .

$$tg(\alpha_1) = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 5.010}{5,1 \times 10^6 \cdot 1,7^2 \cdot 0,8} \Rightarrow \boxed{tg(\alpha_1) = 0,0007 \leq 0,01}$$

Con el valor hallado de  $tg(\alpha_1)$ , se concluye que la estructura pivotará en torno al centro de masa, ubicado a  $1/3t$  desde la base y  $2/3t$  desde el nivel del suelo.



Esto determina que las ecuaciones a utilizar para el momento de encastramiento lateral y el momento de vuelco son:

$$M_s = \frac{1,414 \cdot a \cdot t^3 \cdot C_T}{36} \cdot \operatorname{tg}(\alpha)$$

$$M_v = F_v \left( h_t + \frac{2}{3} \cdot t \right)$$

Donde se fija el valor de  $\operatorname{tg}(\alpha)$  en 0,01 valor que limita la aplicación del método de Sulzberger.

$$M_s = \frac{1,414 \cdot 0,8 \cdot 1,7^3 \cdot 5,1 \times 10^6}{36} \cdot 0,01 \Rightarrow \boxed{M_s = 7.873 \text{ [kg.m]}}$$

$$M_v = 927,8 \cdot \left( 7,5 + \frac{2}{3} \cdot 1,7 \right) \Rightarrow \boxed{M_v = 8.010 \text{ [kg]}}$$

Para el momento de reacción de fondo primero hay que hallar el valor de  $\operatorname{tg}(\alpha_2)$  mediante la siguiente expresión:

$$\operatorname{tg}(\alpha_2) = \frac{1,414 \cdot G_t}{C_B \cdot a^3}$$

Consideramos  $C_B = C_t$

$$\operatorname{tg}(\alpha_2) = \frac{1,414 \cdot 5.010}{5,1 \times 10^6 \cdot 0,8^3} \Rightarrow \boxed{\operatorname{tg}(\alpha_2) = 0,003 < 0,01}$$

Por lo que el momento de reacción de fondo es:

$$M_B = G_T \cdot \left( 0,707 \cdot a - \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{3 \cdot G_T}{C_B \cdot \operatorname{tg} \alpha}} \right)$$

$$M_B = 5.010 \cdot \left( 0,707 \cdot 0,8 - \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 5.010}{5,1 \times 10^6 \cdot 0,01}} \right) \Rightarrow \boxed{M_B = 1.167 \text{ [kg.m]}}$$



El coeficiente de Sulzberger, de acuerdo a Tabla XII:

$$\frac{M_s}{M_B} = \frac{7.873}{1.167} \geq 1 \quad \Rightarrow \quad S = 1$$

Finalmente se verifica que se cumpla la ecuación de Sulzberger:

$$M_s + M_B = 9.040 \text{ [kg.m]}$$

$$M_v = 8.010 \text{ [k.gm]}$$

$$M_s + M_B > S \cdot M_v$$

Concluyéndose de esta manera que la estructura con la fundación diseñada resiste las sollicitaciones externas sin problemas de estabilidad.

### 16.5. Cálculo del hundimiento de la estructura (Retención)

Para evitar que la estructura se hunda en el terreno debemos verificar que:

$$\sigma = \frac{G_T}{A_F} \leq \sigma_{adm}$$

Donde:

- $G_T$ : Peso total de la estructura [kg].
- $A_F$ : Área de la base de la fundación [ $\text{cm}^2$ ].
- $\sigma_{adm}$ : Tensión admisible del terreno [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ].

El peso total de la estructura fue calculado anteriormente.

$$G_t = 1.395 + 385 + 11,5 + 10 + 1.229 + 1.980 \Rightarrow \boxed{G_t = 5.010 \text{ [kg]}}$$

Con esto verificamos que el terreno soportará el peso de la estructura, ya que:

$$\sigma = \frac{5.010}{80 \times 80} = 0,78 \text{ kg/cm}^2 \leq 1,8 \text{ kg/cm}^2$$

Verificando que el terreno resiste al hundimiento de la estructura.



## 17. Caída de tensión en media tensión (MT)

A continuación se determinará la caída de tensión desde el punto de empalme hasta el transformador, para lo cual se calcula la reactancia inductiva de la línea.

La caída máxima admisible es de 5%, es decir 660 volts.

Coeficiente de autoinducción de la línea:

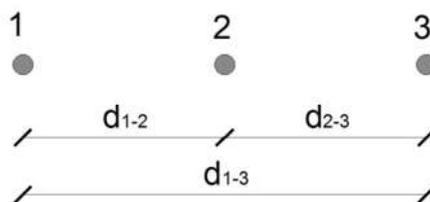
$$L = \left[ \frac{\mu}{2 \cdot n} + 4,6 \cdot \log \frac{D}{r} \right] \times 10^{-4}$$

Donde:

- $L$ : Coeficiente de autoinducción por unidad de longitud [H/km].
- $\mu$ : Permeabilidad del material de los conductores (Cobre-Aluminio=1, Acero=200).
- $n$ : Número de conductores por fase.
- $D$ : Distancia media geométrica entre conductores [m].
- $r$ : Radio de los conductores [m].

La distancia media geométrica se determina a partir de:

$$D = \sqrt[3]{d_{1-2} + d_{1-3} + d_{3-2}}$$



**Figura 42** - Distancia entre conductores.

Donde  $d_{1-2}$ ,  $d_{1-3}$  y  $d_{3-2}$  están determinadas por la longitud de la cruceta, para nuestro caso tenemos que;

$$D = \sqrt[3]{0,8 + 1,6 + 0,8} \Rightarrow D = 1,47 \text{ [m]}$$



Teniendo en cuenta que se tendrá un único conductor por fase  $n=1$  y el radio de los conductores será de  $r = 0,0038 \text{ m}$ , obteniéndose un coeficiente de autoinducción de:

$$L = \left[ \frac{1}{2 \cdot 1} + 4,6 \cdot \log \frac{1,47}{0,0038} \right] \times 10^{-4} \Rightarrow L = 1,24 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{H}}{\text{km}} \right]$$

Por lo tanto se puede determinar la reactancia de los conductores:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,24 \times 10^{-3} \Rightarrow X_L = 0,39 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

El valor de la resistencia se obtuvo de tabla, para un conductor de aleación de aluminio de  $35 \text{ mm}^2$  de sección,  $R = 0,96 \Omega/\text{km}$ .

Obteniéndose:

$$Z = R + j X_L = (0,96 + j0,39) \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z = \sqrt{0,96^2 + 0,39^2} \Rightarrow Z = 1 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

Para calcular la caída de tensión se consideró la corriente máxima que puede circular por la línea de acuerdo a la potencia del transformador instalado ( $150 \text{ kV.A} - 6,56 \text{ A}$  en  $13,2 \text{ kV}$ ) y una longitud total de  $1,6 \text{ km}$ .

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot Z \cdot L$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 6,56 \cdot 1 \cdot 1,6 \Rightarrow \Delta U = 18,18 \text{ [V]}$$

La caída de tensión total porcentual será entonces:

$$\Delta U_{\%} = \frac{0,018 \text{ kV}}{13,2 \text{ kV}} \cdot 100 \Rightarrow \Delta U_{\%} = 0,1 \%$$

Como se puede observar, la caída de tensión máxima no supera el límite admisible.



## 18. Demanda de Potencia Máxima Simultánea

### 18.1. Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Planta

La planta de acopio es el sector más demandante en cuanto a energía eléctrica, dado que cuenta con diversos motores y luminarias de potencias considerables. A continuación se encuentran detallados los puntos de consumo instalados actualmente con sus respectivas características.

Motores instalados en planta								
Ubicación	Número Equipo	Características	Potencia nominal		cos $\varphi$	tg $\varphi$	I [A]	Potencia [kvar]
			[hp]	[kW]				
Aspiración		Siemens 380/660 V - 2925 rpm	7,4	5,5	0,89	0,51	10,6	2,81
Exclusa aspiración		Weg 220/380 V - 1415 rpm	1	0,75	0,83	0,67	1,8	0,50
Aireador 1 silo 1	701A	Baldor 220/380/440-2850 rpm	3	2,24	0,84	0,65	4,7	1,46
Aireador 2 silo 1	701B	Baldor 220/380/440-2850 rpm	3	2,24	0,84	0,65	4,7	1,46
Aireador 1 silo 2	702A	Baldor 220/380/440-2850 rpm	3	2,24	0,84	0,65	4,7	1,46
Aireador 2 silo 2	702B	Baldor 220/380/440-2850 rpm	3	2,24	0,84	0,65	4,7	1,46
Bomba agua		Monofasica-1415 rpm	1	0,75	0,65	1,17	4,2	0,88
Redler 1	501	Siemens 220/380 V-1420 rpm	4	3	0,82	0,70	6,5	2,10
Redler 2	502	Siemens 220/380 V-1420 rpm	4	3	0,82	0,70	6,5	2,10
Fumigador		Weg 220/380 V-2770 rpm	1,5	1,10	0,83	0,67	2,63	0,74
Plat. volcadora	PV	Weg	10	7,50	0,82	0,7	15,2	5,25
Noria 1	301	Weg 380/660 V-1465 rpm	30	22	0,85	0,62	43,2	13,64
Noria 2	302	Weg 380/660 V-1465 rpm	30	22	0,85	0,62	43,2	13,64
Calador neumático	CN	Weg 380/660 V-1430 rpm	5,5	4	0,87	0,57	8,02	2,28
				<b>78,56</b>			<b>161</b>	<b>49,76</b>

Tabla XIV – Fuerza motriz de la planta.



Considerando la potencia activa y la reactiva, se obtiene la potencia aparente:

$$S_T = \sqrt{P_T^2 + Q_T^2} = \sqrt{78,56^2 + 49,76^2} \Rightarrow \boxed{S_T = 93 \text{ [kV.A]}}$$

Con respecto a los motores instalados, y de acuerdo a las características de funcionamiento de la planta, se consideró un factor de simultaneidad de 0,86, obteniéndose los siguientes resultados:

**DPM motores planta de acopio: 93 [kV.A]**

**DPMS motores planta de acopio: 80 [kV.A]**



Iluminación Planta					
Ubicación	Características	Potencia [w]	I línea [A]		
			R	S	T
Pozo de norias	Equipo fluorescente 2x36W	72		0,82	
Reflector pozo de norias	Luminaria bajo consumo	85		0,60	
Interior Volquete 1	Luminaria Sodio Mod. 52000	250			1,42
Interior Volquete 2	Luminaria Sodio Mod. 52000	250			1,42
Interior Volquete 3	Luminaria Sodio Mod. 52000	250			1,42
Interior Volquete 4	Luminaria Sodio Mod. 52000	250			1,42
Sala tableros	Equipo fluorescente 2x36W	72	0,82		
Silo S3	Equipo Sodio A.P	150	0,85		
Silo S4	Equipo Sodio A.P	150	0,85		
Reflector silo S3	Reflector Sodio A.P	250	1,38		
Reflector silo S4	Reflector Sodio A.P	250	1,38		
Exterior CCM	Sodio A.P	150	0,84		
Exterior CCM	Sodio A.P	150	0,84		
Exterior CCM	Luminaria bajo consumo	65	0,60		
Luminaria 1 cabezal norias	Sodio A.P	150	0,85		
Luminaria 2 cabezal norias	Sodio A.P	150	0,85		
Reflector 1 cabezal norias	Sodio A.P/halogenuros	1000		5,40	
Reflector 2 cabezal norias	Sodio A.P/halogenuros	1000		5,40	
Silo 1	Lumin. Sodio Mod. 52000	250		1,42	
Silo 2	Lumin. Sodio Mod. 52000	250		1,42	
Exterior volquete	Lumin. Sodio Mod. 52000	250			1,42
Perimetral	Lumin. Sodio Mod. 52001	250			1,42
			9,26	15,06	8,52

**Tabla XV** – Iluminación planta.



$$S_T = \sum V_i \cdot I_i$$

$$S_T = 0,22[kV] \times 9,26[A] + 0,22[kV] \times 15,06[A] + 0,22[kV] \times 8,52[A] \Rightarrow \boxed{S_T = 7,22[kV.A]}$$

En cuanto a las luminarias instaladas, y de acuerdo a las características de funcionamiento de la planta, se consideró un factor de simultaneidad de 0,92, obteniéndose los siguientes resultados:

**DPM iluminación planta de acopio: 7,2 [kV.A]**

**DPMS iluminación planta de acopio: 6,6 [kV.A]**

### 18.2. Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Oficinas

En primera instancia se determinó el grado de electrificación del local en estudio, para lo cual se calculó la superficie de cada área. Los valores obtenidos se detallan en la Tabla XVI.

Ambiente	Superficie [m <sup>2</sup> ]
Cocina	12
Oficina privada	9
Oficina general	12
Oficina calador	12
Sanitario	2,4
Sala UPS	1,5
<b>TOTAL</b>	<b>48,9</b>

**Tabla XVI** – Superficie por ambiente.

La superficie total está comprendida entre los 30 y los 75 m<sup>2</sup> de superficie, por lo tanto corresponde a un grado de electrificación **MEDIO**.

A partir del grado de electrificación, se identificaron los números mínimos de circuitos de la instalación, los cuales se detallan en la Tabla XVII.



Cantidad mínima de circuitos:	3
IUG:	1
TUG:	1
IUE:	0
TUE:	1
Circuito de libre elección:	0

**Tabla XVII** – Cantidad mínima de circuitos.

Nota: La reglamentación solo hace referencia a la cantidad MÍNIMA de circuitos.

Luego se determinaron los puntos mínimos de utilización de cada circuito en función del grado de electrificación, y se distribuyeron como se muestra en la Tabla XVIII.

Ambiente	Puntos de utilización por circuito		
	IUG	TUG	TUE
Cocina	2	2	2
Oficina privada	2	3	1
Oficina general	2	4	-
Oficina calador	2	4	1
Sanitario	1	1	-
Sala UPS	1	1	-
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>4</b>

**Tabla XVIII** – Puntos de utilización.

Además de los circuitos mínimos establecidos por norma, debido a las características de la instalación, se dispondrá de los siguientes circuitos complementarios:

- 1 circuito IUE (Iluminación Uso Especial), para iluminación exterior, con 6 bocas.
- 1 circuito TUE (Tomacorrientes Uso Especial) para tomacorriente exterior, con 1 punto de utilización.
- 1 circuito APM (Alimentación Pequeños Motores) para motor de bomba de agua.
- 1 circuito OCE (Otros Circuitos Específicos) para luminarias perimetrales, con dos puntos de utilización.

El circuito APM alimenta a un motor monofásico de 2 hp, 1.800 V.A.



El circuito OCE alimenta cuatro luminarias modelo 52001 ubicadas en la balanza y el calador, de 250W cada una, sumando 1.248 V.A de potencia aparente.

#### Demanda de potencia máxima simultánea oficinas

La demanda de potencia se determina en función de los valores establecidos por norma y depende de la cantidad de circuitos y bocas de utilización de los mismos, en la Tabla XIX se detallan los resultados obtenidos para el área de oficinas.

Tipo de circuito	Cantidad de circuitos	Puntos de utilización	PMS [V.A]	DPMS [V.A]
IUG	1	10	150	1.500 x 0,66
TUG	1	15	2.200	2.200
TUE	2	5	3.300	6.600
IUE	1	6	500	3.000 x 0,66
APM	1	1	1.800	1.800
OCE	1	4	312	1.248
				14.818

**Tabla XIX** – Resultados obtenidos.

Nota: Los valores de potencia máxima simultánea (PMS) indicados en la tabla precedente deben considerarse como mínimos, debido a la situación de incertidumbre en las cargas a conectar.

Teniendo en cuenta la DPMS, esto corresponde a un grado de electrificación SUPERIOR, se adopta un coeficiente de simultaneidad de 0,8, obteniéndose:

Potencia máxima simultánea:  $0,8 \times 14.818 \text{ [V.A]} = 11.854,4 \text{ [V.A]}$

**DPMS oficinas: 12 [kV.A]**



### 18.3. Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Pieza de Personal

En primera instancia se determinó el grado de electrificación del local en estudio, para lo cual se calculó la superficie de cada área. Los valores obtenidos se detallan en la Tabla XX.

Ambiente	Superficie [m <sup>2</sup> ]
Pieza	12
Sanitario	3
TOTAL	15

**Tabla XX** – Superficie por ambiente.

La superficie total es inferior a 60 m<sup>2</sup>, por lo tanto corresponde a un grado de electrificación **MÍNIMO**.

A partir del grado de electrificación, se identificaron los números mínimos de circuitos de la instalación, los cuales se detallan en la Tabla XXI.

Cantidad mínima de circuitos	2
IUG:	1
TUG:	1
IUE:	0
TUE:	0
Circuito de libre elección:	0

**Tabla XXI** – Cantidad mínima de circuitos.

Nota: La reglamentación solo hace referencia a la cantidad MÍNIMA de circuitos.

Luego se determinaron los puntos mínimos de utilización de cada circuito en función del grado de electrificación, y se distribuyeron como se muestra en la Tabla XXII.

Ambiente	Puntos de utilización por circuito		
	IUG	TUG	TUE
Pieza	1	2	-
Sanitario	1	1	-
TOTAL	2	3	-

**Tabla XXII** – Puntos de utilización.



### Demanda de potencia máxima simultánea (pieza de personal)

La demanda de potencia se determina en función de los valores establecidos por norma y depende de la cantidad de circuitos y bocas de utilización de los mismos, en la Tabla XXIII se detallan los resultados obtenidos para la pieza del personal.

Tipo de circuito	Cantidad de circuitos	Puntos de utilización	PMS [V.A]	DMPS [V.A]
IUG	1	2	150	300 x 0,66
TUG	1	3	2.200	2.200
				2.398

**Tabla XXIII** – Resultados obtenidos.

Nota: Los valores de potencia máxima simultánea (PMS) indicados en la tabla precedente deben considerarse como mínimos, debido a la situación de incertidumbre en las cargas a conectar.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de simultaneidad para un grado de electrificación MINIMO es de 1, la potencia máxima simultánea que se obtiene es:

Potencia máxima simultánea:  $1 \times 2.398 \text{ [V.A]} = 2.398 \text{ [V.A]}$

**DPMS pieza de personal: 2,4 [kV.A]**

#### **18.4. Demanda de Potencia Máxima Simultánea - Baño de Servicio**

En primera instancia se determinó el grado de electrificación del local en estudio, para lo cual se calculó la superficie de cada área. Los valores obtenidos se detallan en la Tabla XXIV.

Ambiente	Superficie [m <sup>2</sup> ]
Baño	2
Vestíbulo	3
TOTAL	5

**Tabla XXIV** – Superficie por ambiente.



La superficie total es inferior a 60 m<sup>2</sup>, por lo tanto corresponde a un grado de electrificación **MÍNIMO**.

A partir del grado de electrificación, se identificaron los números mínimos de circuitos de la instalación, los cuales se detallan en la Tabla XXV.

Cantidad mínima de circuitos	2
IUG:	1
TUG:	1
IUE:	0
TUE:	0
Circuito de libre elección:	0

**Tabla XXV** – Cantidad mínima de circuitos.

Nota: La reglamentación solo hace referencia a la cantidad MÍNIMA de circuitos.

Luego se determinaron los puntos mínimos de utilización de cada circuito en función del grado de electrificación, y se distribuyeron como se muestra en la Tabla XXVI.

Ambiente	Puntos de utilización por circuito		
	IUG	TUG	TUE
Baño	1	1	-
Vestíbulo	1	1	-
<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>

**Tabla XXVI** – Puntos de utilización.

Además de los circuitos mínimos establecidos por norma, debido a las características de la instalación, se dispondrá de los siguientes circuitos complementarios:

- 1 circuito IUE, para iluminación exterior, con 1 boca.
- 1 circuito TUE para tomacorriente exterior, con 1 punto de utilización.
- 1 circuito APM para motor de bomba de agua.

El circuito APM alimenta a un motor monofásico de 0,75 hp, 650 V.A.



### Demanda de potencia máxima simultánea (baño de servicio)

La demanda de potencia se determina en función de los valores establecidos por norma y depende de la cantidad de circuitos y bocas de utilización de los mismos, en la Tabla XXVII se detallan los resultados obtenidos para el baño de servicio.

Tipo de circuito	Cantidad de circuitos	Puntos de utilización	PMS [V.A]	DMPS [V.A]
IUG	1	2	150	300 x 0,66
TUG	1	2	2.200	2.200
TUE	1	1	3.300	3.300
IUE	1	1	500	500 x 0,66
APM	1	1	650	650
				6.678

**Tabla XXVII** – Resultados obtenidos.

Nota: Los valores de potencia máxima simultánea (PMS) indicados en la tabla precedente deben considerarse como mínimos, debido a la situación de incertidumbre en las cargas a conectar.

Teniendo en cuenta que el coeficiente de simultaneidad para un grado de electrificación MINIMO es de 1, la potencia máxima simultánea que se obtiene es:

Potencia máxima simultánea:  $1 \times 6.678 \text{ [V.A]} = 6.678 \text{ [V.A]}$

**DPMS baño de servicio: 6,6 [kV.A]**

### **18.5. Demanda de Potencia Máxima Simultánea Total**

Como se mencionó anteriormente, la DPMS Total de toda la instalación se define efectuando la suma de las DPMS de cada sector.

Ubicación	DPMS [kV.A]
Motores planta de acopio	80
Iluminación planta de acopio	6,6
Oficinas	12
Pieza del personal	2,4
Baño de servicio	6,6
<b>TOTAL</b>	<b>107,6</b>

**Tabla XXVIII** – Resultado final.



### 19. Esquema de conexión a tierra – Verificación

La PAT de servicio se efectuará mediante una perforación de 10 metros de profundidad, y se utilizará conductor de cobre de 50 mm<sup>2</sup> de sección, lo cual el radio equivalente será de:

$$Re \cong \frac{l}{\ln\left(\frac{l}{d}\right)} = \frac{10}{\ln\left(\frac{10}{0,05}\right)} \Rightarrow \boxed{Re=1,88 \text{ [m]}}$$

Donde:

- Re: Radio equivalente [m].
- l: Longitud de la jabalina [m].
- d: Diámetro de la jabalina [m].

Distancia considerada tierra lejana:  $10 \times 1,88 = 18,8$  metros

La puesta a tierra de protección más cercana a la subestación transformadora (SET), se encuentra instalada en el área del CCM, a una distancia de 50 metros, con lo cual verifica la condición de tierra lejana frente a la toma de servicio.



## 20. Selección de fusibles de media tensión

Para seleccionar los fusibles correspondientes a la protección en Media Tensión se realizó el siguiente cálculo:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}xV}$$

Dónde:

- P: potencia del transformador [kV.A].
- V: Tensión [kV].
- I: corriente de proyecto [A].

Por lo tanto se obtiene:

$$I = \frac{150[kV.A]}{\sqrt{3}x13,2[kV]} \Rightarrow I = 6,56[A]$$

Con dicho valor de corriente se utilizaron tablas de fabricantes y se seleccionó el calibre inmediato superior, es decir 10 A de corriente nominal.



## 21. Corrientes de cortocircuito

### *Corriente de cortocircuito en bornes del transformador*

Se calculará a continuación la corriente de cortocircuito en bornes del transformador, teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Potencia nominal transformador: 150 kV.A.
- Relación de transformación: 13,2/0,4 kV.
- Tensión de cortocircuito asignada: 4%.
- Potencia de pérdidas: 2 kW.

#### **Nota:**

El cálculo que se realiza a continuación responde a las siguientes hipótesis de cálculo de acuerdo a reglamentación AEA 90909:

- El cortocircuito se supone equilibrado.
- Tensión constante durante la falla.
- No se considera la resistencia de arco.
- La falla es franca, es decir  $R=0$ .
- Se adopta potencia de cortocircuito de la red MT igual a 300 MV.A.

#### **Impedancia de la red de alimentación en MT**

$$Z_{Qt} = \frac{c_Q \cdot U_{nQ}^2}{S''_{kQ}} \cdot \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 \times (13,2 \text{ kV})^2}{300 [\text{MV} \cdot \text{A}]} \times \frac{1}{(13,2/0,4 \text{ kV})^2} \Rightarrow Z_{Qt} = 5,86 \times 10^{-4} [\Omega]$$

$$\left. \begin{array}{l} R_{Qt} = 0,100 \cdot Z_{Qt} = 5,836 \times 10^{-5} [\Omega] \\ X_{Qt} = 0,995 \cdot Z_{Qt} = 5,836 \times 10^{-4} [\Omega] \end{array} \right\} Z_{Qt} = (5,836 \times 10^{-5} + j5,836 \times 10^{-4}) [\Omega]$$

Donde



- $Z_{Qt}$  = Impedancia de la red, compuesta por  $R_{Qt}$  y  $X_{Qt}$ .
- $c$  = Factor de tensión, igual a 1,05 en el punto de falla.
- $U_n$  = Tensión nominal en el punto de defecto.
- $S_k''$  = Potencia de cortocircuito.
- $t_r$  = Relación de transformación.

### Impedancia del transformador

Módulo

$$Z_T = \frac{U_{krT}(\%) \times U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{0,04 \times [400 \text{ V}]^2}{150 [\text{kV.A}]} \Rightarrow Z_T = 0,043 [\Omega]$$

Resistencia

$$R_T = \frac{P_{krT}}{3 \cdot I_{rT}^2} = \frac{P_{krT} \cdot U_{rT}^2}{S_{rT}^2} = \frac{2000 [\text{W}] \times (400 [\text{V}])^2}{(150.000 [\text{V.A}])^2} \Rightarrow R_T = 1,42 \times 10^{-2} [\Omega]$$

Reactancia

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{(0,043 [\Omega])^2 - (1,42 \times 10^{-2} [\Omega])^2} \Rightarrow X_T = 0,04 [\Omega]$$

Impedancia

$$Z_T = (1,42 \times 10^{-2} + j0,043) [\Omega]$$

Donde

- $U_{krT}$  = Tensión de cortocircuito asignada.
- $U_{rT}$  = Tensión de línea asignada lado BT.
- $S_{rT}$  = Potencia asignada.
- $P_{krT}$  = Potencia de pérdidas.



### Corriente de cortocircuito en bornes del transformador

$$R_k = R_{Qt} + R_T = 5,836 \times 10^{-5} [\Omega] + 1,42 \times 10^{-2} [\Omega] \Rightarrow R_k = 0,0142 [\Omega]$$

$$X_k = X_{Qt} + X_T = 5,836 \times 10^{-4} [\Omega] + 0,04 [\Omega] \Rightarrow X_k = 0,04 [\Omega]$$

$$Z_T = \sqrt{(0,0142)^2 + (0,04)^2} \Rightarrow Z_T = 0,0424 [\Omega]$$

$$I''_{K-BORNES} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$$

$$I''_{K-BORNES} = \frac{1,05 \times 0,38 [kV]}{\sqrt{3} \times 0,0424 [\Omega]} \Rightarrow I''_{K-BORNES} = 5,43 [kA]$$

### Corriente de cortocircuito en tablero principal (TP)

- Longitud conductor transformador-medidor: 8 metros.
- Longitud conductor medidor-tablero principal: 2 metros.
- Conductor: Tetrapolar 3x120/70 mm<sup>2</sup>.

### Impedancia del conductor

$$Z_{120-80^\circ C} = (0,203 + j0,073) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Corrigiendo la resistencia por temperatura, teniendo en cuenta que la temperatura admisible del conductor en servicio es de 70°C, se obtiene:

$$R_{C-70^\circ C} = R_{C-80^\circ C} \left[ 1 + \alpha_{Cu} \cdot (70 - 80)^\circ C \right]$$

$$R_{120-70^\circ C} = 0,203 \frac{\Omega}{km} \left[ 1 + 0,00393 \frac{1}{^\circ C} \cdot (-10)^\circ C \right] \Rightarrow R_{120-70^\circ C} = 0,195 \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$



Teniendo en cuenta la longitud (10 metros), la impedancia del cable es:

$$Z_{120-70^{\circ}C} = (1,95 \times 10^{-3} + j 7,3 \times 10^{-4}) [\Omega]$$

Impedancia total (Red + Transformador + Cable):

$$Z_T = Z_{Qt} + Z_T + Z_C \Rightarrow \boxed{Z_T = (0,016 + j 0,04) [\Omega]}$$

Módulo

$$Z_T = \sqrt{(0,016)^2 + (0,04)^2} = 0,043 [\Omega]$$

La corriente de cortocircuito en el tablero quedara determinada por:

$$I''_{K-TP} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad [kA]$$

$$I''_{K-TP} = \frac{1,05 \times 0,38 [kV]}{\sqrt{3} \times 0,043 [\Omega]} \Rightarrow \boxed{I''_{K-TP} = 5,35 [kA]}$$

### *Corriente de cortocircuito en CCM (Centro de Control de Motores)*

Características del circuito seccional general:

- Conductor: IRAM NM 2178.
- Aislación y vaina: PVC.
- Tipo: Tetrapolar Subterráneo de potencia.
- Tensión nominal de servicio: 1,1 kV.
- Sección: 3x120/70 mm<sup>2</sup>.
- Longitud: 45 metros.



### Impedancia del conductor

$$Z_{120-70^{\circ}C} = (0,195 + j0,073) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Teniendo en cuenta la longitud (45 metros):

$$Z_{120-70^{\circ}C} = (8,775 \times 10^{-3} + j3,285 \times 10^{-3}) [\Omega]$$

Impedancia total (Red + Transformador + Cables):

$$Z_T = Z_{Qt} + Z_T + Z_{C1} + Z_{C2} \Rightarrow \boxed{Z_T = (0,025 + j0,044) [\Omega]}$$

Módulo

$$Z_T = \sqrt{(0,025)^2 + (0,044)^2} = 0,051 [\Omega]$$

La corriente de cortocircuito en el tablero quedara determinada por:

$$I''_{K-CCM} = \frac{1,05 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

$$I''_{K-CCM} = \frac{1,05 \times 0,38 [kV]}{\sqrt{3} \times 0,051 [\Omega]} \Rightarrow \boxed{I''_{K-CCM} = 4,5 [kA]}$$



## 22. Cálculo de Conductores

### 22.1. *Conductor de alimentación del Tablero Seccional General (CSG)*

El tablero seccional general alimenta motores y otras cargas, con lo cual el conductor alimentador del mismo (Circuito Seccional General), se dimensionará para una intensidad del 125% de la intensidad nominal del motor de mayor potencia más la intensidad nominal de todos los demás motores y cargas con simultaneidad del 100%.

Se consideró, a los fines del cálculo, que la potencia se encuentra distribuida de manera equilibrada en las tres fases.

- 125 % de la potencia del motor más grande:  $1,25 \times 25,8 = 32,2$  kV.A.
- Potencia de los motores restantes: 68 kV.A.
- DPM iluminación planta de acopio: 7,2 [kV.A].
- DPM oficinas: 14 [kV.A].
- DPM pieza de personal: 2,4 [kV.A].
- DPM baño de servicio: 6,6 [kV.A].

Demanda de Potencia Máxima Tablero Seccional General (TSG o CCM):

$$DPM = 130 \text{ [kV.A]}$$

Características del circuito:

- Conductores por circuito: 1 conductor tetrapolar.
- Tipo conductor: IRAM 2178 o IRAM 62266, aislación PVC.
- Temperatura máxima admisible en servicio continuo: 70 °C.
- Temperatura máxima admisible en condiciones de cortocircuito: 160 °C.
- Longitud del circuito: 45 metros.
- Condiciones: Directamente enterrado.



1 – Determinación de la corriente de proyecto

Se trata de un sistema trifásico, con lo cual la corriente de proyecto se determina de la siguiente manera:

$$I_B = \frac{DPM}{\sqrt{3} \cdot 0,38 [kV]} = \frac{130 [kV \cdot A]}{\sqrt{3} \cdot 0,38 [kV]} \Rightarrow \boxed{I_B = 197,5 [A]}$$

2 – Elección del conductor a partir de su corriente máxima admisible:

Se admiten para instalaciones subterráneas directamente enterradas, conductores IRAM 2178, IRAM 62266 e IRAM 2268.

La temperatura del suelo se consideró de 25 °C, con lo cual el factor de corrección para colocación enterrada será 1, Tabla XXIX.

El suelo se consideró como “tierra muy seca”, con lo cual el factor de corrección para resistividades térmicas del terreno diferentes de 1 K.m/W, es de 0,85, Tabla XXIX.



 ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA	REGLAMENTACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INMUEBLES	AEA 90364-7-771 © Edición 2006 Página 108
---	---	--

771.16.2.3.5: Factores de corrección para cables enterrados en forma directa o dentro de caños o conductos enterrados

Tablas 771.16.VII - Factores de corrección para colocación enterrada

a) Factores de corrección para temperaturas del suelo distintas de 25 °C para cables enterrados o tendidos dentro de caños o conductos enterrados

Temperatura del suelo [°C]	PVC	XLPE o EPR
10	1,16	1,11
20	1,05	1,04
25	1	1
30	0,94	0,97
35	0,88	0,93
40	0,81	0,89
45	0,75	0,83
50	0,66	0,79
55	0,58	0,74
60	0,47	0,68
65	---	0,63
70	---	0,55
75	---	0,48
80	---	0,4

b) Factores de corrección para resistividades térmicas del terreno diferentes de 1 K.m / W a aplicar sobre los valores de intensidades de corriente admisibles para cables dispuestos dentro de caños o conductos enterrados (método de referencia D1) o cables directamente enterrados (método de referencia D2)

Tipo de terreno	Tierra muy húmeda	Tierra húmeda	Tierra normal seca	Tierra muy seca	70 % tierra 30 % arena ambas muy secas	70 % arena 30 % tierra ambas muy secas	Arena muy seca
Resistividad térmica [K.m / W]	0,5	0,8	1	1,5	2	2,5	3
Factor de corrección, cables dentro de caños o conductos enterrados	1,08	1,02	1,00	0,93	0,89	0,85	0,81
Factor de corrección, cables directamente enterrados	1,25	1,08	1,00	0,85	0,75	0,67	0,60

Nota 1: Los factores de corrección dados son valores medios para las dimensiones de conductores y formas de instalación indicados en las tablas 771.16.VI. La precisión de los factores de corrección es del orden de ±5 %.

Nota 2: Los factores de corrección son aplicables a cables y caños o conductos enterrados hasta una profundidad de 0,7 m.

**Tabla XXIX – Factores de corrección.**

El circuito constará de un único conductor tetrapolar, por lo que el factor de corrección por agrupamiento de circuitos es 1. Tabla XXX.



ASOCIACIÓN ELECTROTÉCNICA ARGENTINA		REGLAMENTACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INMUEBLES		AEA 90364-7-771 © Edición 2005 Página 109	
c) Factores de reducción para más de un circuito, cables directamente enterrados					
Número de circuitos	en contacto	1 diámetro	Separación entre bordes internos ( a ) [ m ]		
			0,125	0,25	0,5
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

d) Factores de reducción para agrupamiento de caños y conductos enterrados conteniendo cada uno un cable multipolar o un cable unipolar

d1) Un cable multipolar por caño

Número de caños	Separación ( a ) entre bordes internos			
	en contacto	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,90

d2) Un cable unipolar en caño no metálico

Número de circuitos de dos o tres cables	Separación ( a ) entre bordes internos			
	en contacto	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,95
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

**Tabla XXX – Factores de reducción.**

En resumen los factores de corrección adoptados son:

Por temperatura  $f_T = 1,0$

Por resistividad  $f_R = 0,85$

Por agrupamiento de circuitos  $f_A = 1$

$$I_Z' = \frac{I_B}{f_T \cdot f_R \cdot f_A} = \frac{197,5 [A]}{1 \times 0,85 \times 1} = 232,3 [A]$$



Selección de la sección de conductor a partir de su intensidad de corriente admisible, de Tabla XXXI, Página N° 117:

$$S = 95 \text{ mm}^2, \text{ sección que soporta una } I_{adm} = 254 [A]$$

Teniendo en cuenta los factores de corrección adoptados, la intensidad de corriente admisible en las condiciones de la instalación será:

$$I_Z = 254 \times 1 \times 0,85 \times 1 \Rightarrow I_Z = 215,9 [A]$$

Se verifica que  $I_Z \geq I_B$  por lo tanto la sección elegida es apta para la corriente de proyecto del CSG.

	REGLAMENTACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN INMUEBLES	AEA 90364-7-771 © Edición 2006 Página 104
--	---	--

**771.16.2.3.4: Cables directamente enterrados**

Para cables con conductores de cobre o aluminio, que cumplen con las normas IRAM 2178 ó 62266, un circuito de tres cables unipolares en contacto mutuo o un cable multipolar, dispuestos directamente enterrados a una profundidad de 0,7 m, la siguiente Tabla 771.16.VI establece la intensidad de corriente en amperes, para una temperatura del terreno igual a 25 °C y una resistividad térmica específica del terreno igual a 1 K.m / W.

Nota: En el caso de utilizarse cables unipolares, directamente enterrados y separados un diámetro como mínimo, podrá aplicarse un factor de corrección de 1,07.

**Tabla 771.16.VI - Intensidad de corriente admisible [A] para una temperatura del terreno igual a 25 °C y resistividad térmica específica del terreno igual a 1 K.m / W**

[mm²] Cobre	Método D2				
	Directamente enterrado				
	Aislación PVC / Termoplástico				
	IRAM 2178				
	IRAM 62266				
1,5	30	29	25	25	20
2,5	39	39	33	34	27
4	50	51	43	44	35
6	63	65	53	55	44
10	84	88	71	74	58
16	108	112	91	95	75
25	140	144	117	123	96
35	168	173	140	147	115
50	198	207 *	166 *	173	137
70	243	254 *	205 *	211	169
95	291	306 *	242 *	254	201
120	331	350 *	276 *	290	228
150	372	393 *	312 *	325	258
185	420	445 *	350 *	369	289
240	487	519 *	405 *	428	333
300	552	587 *	457 *	484	377
400	631	---	---	---	---
500	728	---	---	---	---
630	823	---	---	---	---

\* Los cables bipolares se construyen generalmente hasta la sección de 35 mm². Las intensidades de corriente admisible indicadas para cables de secciones de 2 x 50 mm² hasta 2 x 300 mm² corresponden a cables tripolares, donde el tercero no es utilizado o es empleado como PE.

Nota 1: Los valores dados son promedios para los tipos de cable y rangos de secciones considerados en las tablas 771.16.VI. La dispersión de los valores es generalmente menor al 5 %.

Nota 2: Las tablas de intensidades admisibles 771.16.VI están calculadas para cables con conductores con formación rígida (Clase 2 de IEC 60228 o de la Norma IRAM NM 280); en caso de utilizar conductores con formación flexible (Clase 5 de IEC 60228 o de la Norma IRAM NM 280) los valores de intensidades de corriente admisible deben multiplicarse por el factor 0,95.

**Tabla XXXI – Corriente admisible para cables directamente enterrados.**



### 3 – Elección de la corriente asignada del dispositivo de protección

El circuito (CSG) contará con un dispositivo de protección para interrumpir toda corriente de sobrecarga en los conductores, de modo de evitar daños en la aislación de los mismos por efecto térmico.

Se debe verificar  $I_B \leq I_n \leq I_Z$

Donde:

- $I_B$  : Corriente de proyecto.
- $I_n$  : Corriente asignada o nominal del dispositivo de protección.
- $I_Z$  : Corriente admisible en regimen permanente del conductor a proteger.

Es decir, se debe verificar:

$$197,5 \leq I_n \leq 215,9$$

El interruptor automático seleccionado es:

- Marca: Merlin Gerín.
- Modelo: NR 250 F, TMD 200D.
- Amperaje: 200-250 A, regulable.
- Poder asignado de corte ultimo:  $I_{cu}=25$  [kA].
- Categoría: A (sin retardo de disparo previsto).

$$I_n : 250 [A]$$

$$I_r : 207 [A] \quad (0,82 \times 250)$$

$$I_m : 2.500 [A] \quad (10 \times 250)$$

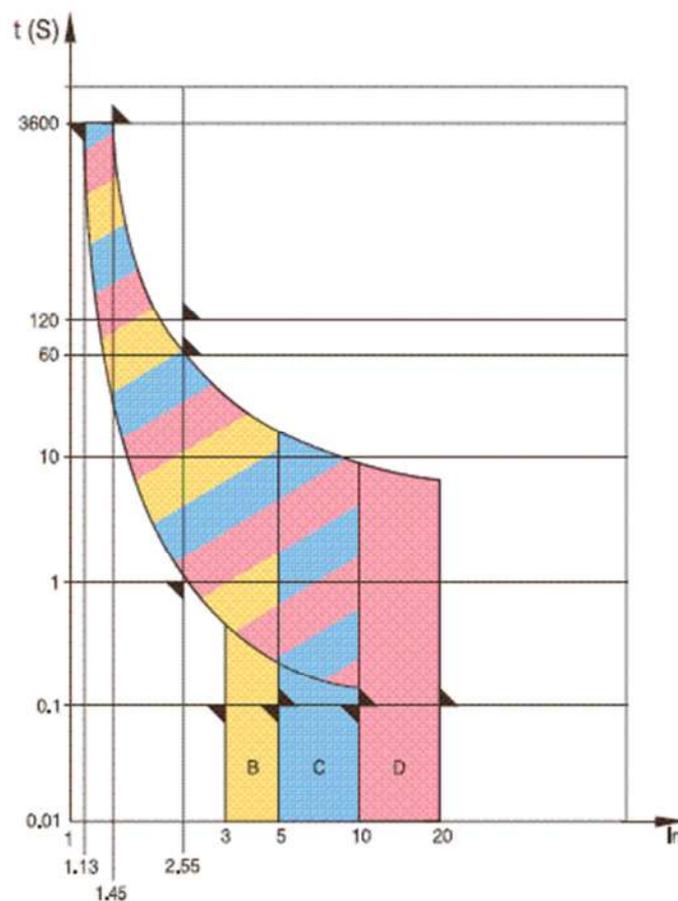
Cumple con la norma IEC 60947-2, cuyas prescripciones se aplican a interruptores de baja tensión, garantizando la seguridad en el empleo de los mismos.



- **$I_n$** : intensidad ininterrumpida máxima soportada a temperatura ambiente, sin sobrecalentamiento anormal [A].
- **$I_r$** : Intensidad de regulación de sobrecarga ajustable (0,8 a 1 x  $I_n$ ). Caracteriza la protección contra las sobrecargas [A].
- **$I_m$** : Intensidad de regulación de disparo instantáneo. Caracteriza la protección contra los cortocircuitos, toma valores 5 a 10 x  $I_n$  [A].
- **$I_{cu}$** : Valor máximo de intensidad que el interruptor puede cortar [A].

La curva de disparo magnético es regulable, se estableció la regulación en 10 x  $I_n$ , es decir curva de disparo “C”, debido a la presencia de motores.

IEC 898: Curva de Disparo



**Figura 43** – Curvas de disparo.

**Nota:** La intensidad de corriente a utilizar para el dimensionamiento de los conductores, será el valor más alto de regulación de la protección contra sobrecargas y cortocircuitos.



#### 4 – Verificación de la actuación de la protección por sobrecarga

Se debe verificar  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$

Donde:

- $I_2$  : Intensidad de corriente de operación o disparo seguro.
- $I_Z$  : Corriente admisible en régimen permanente del conductor a proteger.

Para interruptores automáticos conforme a IEC 60947-2, con  $I_n \geq 63$  [A], el valor de la corriente de operación viene dado por:

$$I_2 = 1,3 \cdot I_n \Rightarrow I_2 = 1,3 \times 250 \text{ [A]} = 325 \text{ [A]}$$

$$1,45 \cdot I_Z = 1,45 \times 215,9 = 313 \text{ [A]}$$

Se observa que no se verifica la condición, con lo cual se debe incrementar la sección del conductor:

$$S = 120 \text{ mm}^2, \text{ sección que soporta una } I_{adm} = 290 \text{ [A]}$$

Por lo tanto

$$I_Z = 290 \times 0,85 \Rightarrow I_Z = 246,5 \text{ [A]}$$

$$I_2 = 1,3 \cdot I_n \Rightarrow I_2 = 1,3 \times 250 \text{ [A]} = 325 \text{ [A]}$$

$$1,45 \cdot I_Z = 1,45 \times 246,5 = 357,4 \text{ [A]}$$

Se observa que  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$ , y por lo tanto se verifica la actuación de la protección por sobrecarga.



### 5 – Determinación de la corriente de cortocircuito máxima

La corriente de cortocircuito en el tablero principal se determinó previamente (Ver Página N° 110).

En esta instancia se debe verificar la Regla del poder de corte:

La capacidad de ruptura del dispositivo de protección, debe ser mayor que la máxima intensidad de corriente de cortocircuito presunta en el punto donde el dispositivo esté instalado, es decir:

$$P_{dCcc} \geq I''_k$$

- Poder de corte del dispositivo de protección: 25 kA.
- Corriente de cortocircuito en tablero principal: 5,35 kA.

Con lo cual se verifica la presente condición.

### 6 – Verificación por máxima exigencia térmica

El dispositivo de protección presenta la característica de limitación de la corriente de cortocircuito, con lo cual la protección de los conductores queda asegurada si se cumple la siguiente expresión:

$$S^2 \cdot k^2 \geq I^2 \cdot t$$

Donde:

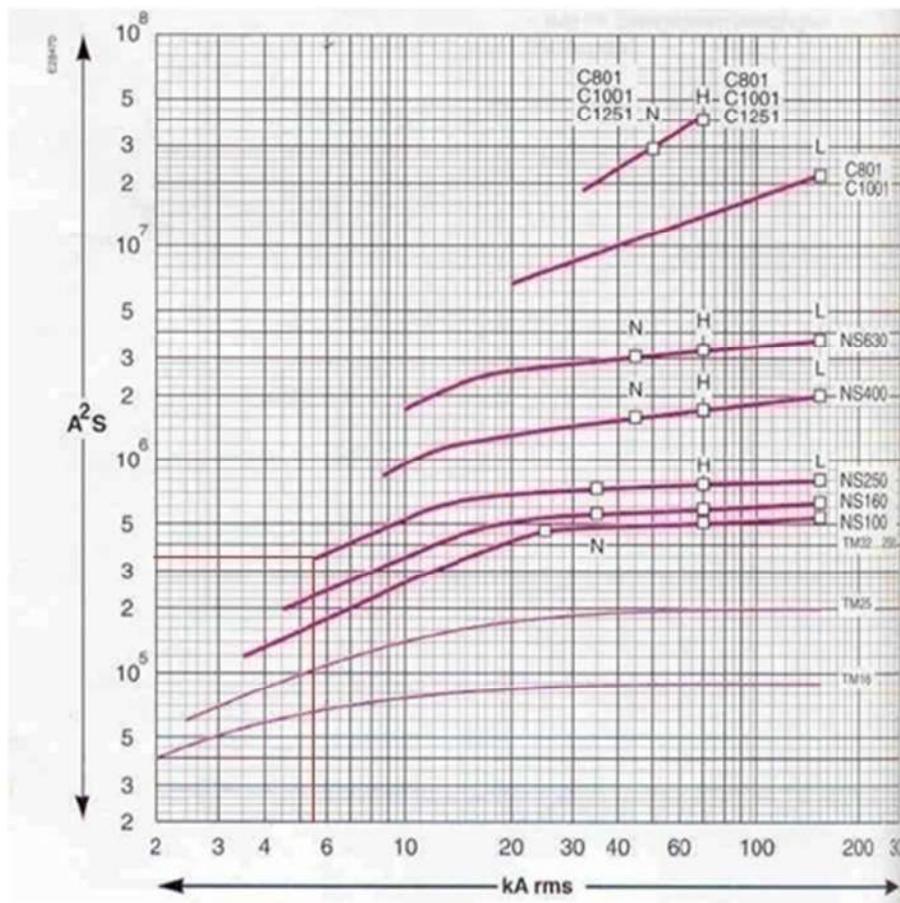
- S: Sección nominal del conductor [mm<sup>2</sup>].
- K: Factor que toma en cuenta: resistividad, coeficiente de temperatura, capacidad térmica volumétrica del conductor, temperatura inicial y final.
- I<sup>2</sup>t: Máxima energía pasante aguas abajo del dispositivo de protección. En productos fabricados según IEC 60947-2, este dato es proporcionado por el fabricante en forma de curvas.



Es decir la energía térmica disipada en el punto de falla tiene que ser inferior o igual a la permisible por el cable.

Se obtiene de norma AEA 90364, para conductor de cobre con sección inferior a  $300 \text{ mm}^2$ , un valor de  $k = 115$ .

A partir de las curvas de interruptores Merlin Gerin, se obtiene la energía específica pasante (en  $\text{A}^2\text{s}$ ), en función de la corriente de cortocircuito simétrica.



**Figura 44** – Curvas de energía específica pasante.

De acuerdo a la sección seleccionada hasta este punto, se tiene:

$$S^2 \cdot k^2 = 120^2 \times 115^2 \Rightarrow S^2 \cdot k^2 = 1,9 \times 10^8$$

$$I_{CU} = 5,3 [\text{kA}] \Rightarrow I^2 t = 3,5 \times 10^5 [\text{A}^2\text{s}]$$



Por lo tanto  $S^2 \cdot k^2 \geq I^2 \cdot t$ , verificándose la actual condición.

#### 7 – Verificación de la actuación de la protección por corriente mínima de cortocircuito

Se deberá comprobar que la corriente de cortocircuito sea tal que el dispositivo de protección desconecte en forma instantánea.

En este punto se emplea la corriente de cortocircuito aguas abajo del circuito en estudio, es decir la corriente de cortocircuito en el CCM (Ver Página N° 111).

El interruptor se reguló según curva de disparo magnético “C”, con lo cual se debe verificar que:

$$10 \cdot I_r < I''_{k-TP}$$

Luego se verifica que  $2070 [A] < 4500 [A]$

#### 8 – Verificación de la caída de tensión en el extremo del circuito

Según Reglamentación, la máxima caída de tensión admisible para un circuito seccional es de 1%. Entonces  $\Delta U_{adm} = 3,8 [V]$

La caída de tensión se determina mediante:

$$\Delta U = k \cdot I \cdot L \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) [V]$$

Donde:

- $k = 1,73$ , por ser un circuito trifásico.
- $I$ : Intensidad de corriente de línea [A].
- $L$ : Longitud de conductor en un punto del circuito, considerado como el más lejano [km].
- $R$ : Resistencia del conductor [ $\Omega$ /km].
- $X$ : Reactancia del conductor [ $\Omega$ /km].
- $\cos \varphi = 0,85$



Teniendo en cuenta la impedancia del conductor a la temperatura de trabajo de 70° C:

$$Z_{120-70^{\circ}C} = (0,195 + j0,073) \left[ \frac{\Omega}{km} \right]$$

Entonces

$$\Delta U = 1,73 \times 197,5 [A] \times 0,045 [km] \times \left( 0,195 \left[ \frac{\Omega}{km} \right] \times 0,85 + 0,073 \times 0,53 \right) \Rightarrow \boxed{\Delta U = 3,14 [V]}$$

En porcentual es 0,83 % de caída de tensión. Se concluye que la sección seleccionada cumple con los requisitos de caída de tensión.

**Por lo tanto el conductor para el Circuito Seccional General (CSG), será:**

**IRAM NM 2178, aislación PVC de  $S = 1 \times (3 \times 120 / 70) [mm^2]$**



### 23. Corrección de factor de potencia - Iluminación

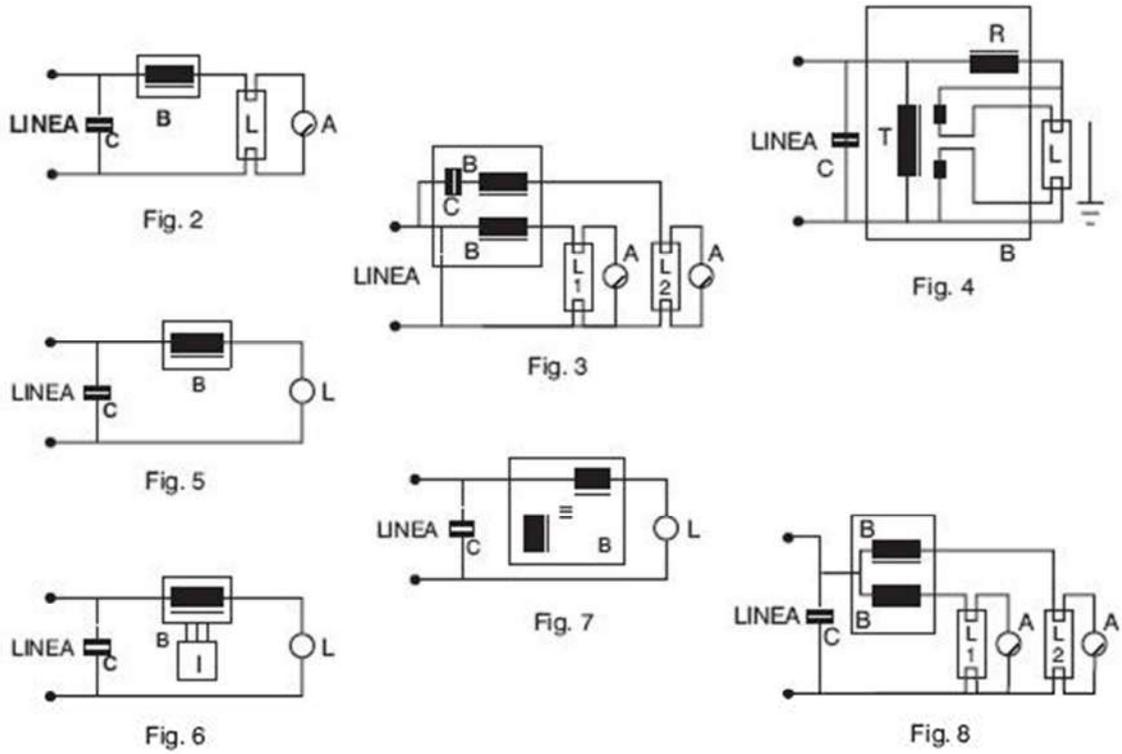
#### Compensación del alumbrado

La planta cuenta mayormente con lámparas de descarga de diferentes tipos, para su compensación se extraerán los valores de los capacitores para cada una de acuerdo a la Tabla XXXII, y a los esquemas de conexión correspondientes (Ver Figura 45, Página N° 126).

**VALORES DE CAPACITANCIA PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA CON LAMPARAS A DESCARGA**

LAMP. W	$\lambda$ 0,85 $\mu$ F	$\lambda$ 0,90 $\mu$ F	V	Fig.	LAMP. W	$\lambda$ 0,85 $\mu$ F	$\lambda$ 0,90 $\mu$ F	V	Fig.	LAMP. W	$\lambda$ 0,85 $\mu$ F	$\lambda$ 0,90 $\mu$ F	V	Fig.
<b>FLUORESCENTE COMPACTA 220V - 50Hz</b>					<b>VAPOR DE MERCURIO 220V - 50Hz</b>					<b>MERCURIO HALOG. PHILIPS 220V - 50Hz</b>				
1 x 5	2	2,5	250	2	50	6	6	250	5	70	10	12,5	250	6
1 x 7	2	2,5	250	2	80	6	6	250	5	150	20	20	250	6
1 x 9	2	2	250	2	125	10	10	250	5	250	16	20	250	6
1 x 11	2	2	250	2	250	16	20	250	5	375	28	28	250	6
1 x 13	2	2	250	2	400	28	28	250	5	1000	2 x 33	2 x 33	250	6
2 x 5	2	2	250	2	700	33	45	250	5	2000	3 x 45	3 x 45	250	6
2 x 7	2	2	250	2	1000	45	50	250	5	<b>SODIO ALTA PRESION 220V - 50Hz</b>				
2 x 9	2	2	250	2	<b>MERCURIO HALOG. OSRAM HQI 220V - 50Hz</b>					50	8	10	250	6
<b>FLUORESCENTE TUBULAR 220V - 50Hz</b>					70	10	12,5	250	6	70	10	12,5	250	6
15	4	4	250	2	150	20	20	250	6	100	12,5	12,5	250	6
18/20	4	4	250	2	250	33	33	250	6	150	20	20	250	6
2 x 18	8	8	250	2	360	33	33	250	6	250	33	33	250	6
30	4	4	250	2	400	45	45	250	6	400	45	50	250	6
36/40	4	4	250	2	1000	2 x 45	2 x 45	250	6	600	2 x 33	2 x 33	250	6
2 x 36	8	8	250	8	<b>MERCURIO HALOG. OSRAM HQI 380V - 50Hz</b>					1000	2 x 45	2 x 50	250	6
58/65	6	6	250	2	2000 N	2 x 18	2 x 20	440	5	<b>SODIO BAJA PRESION 220V - 50Hz</b>				
<b>FLUORESCENTE TUBULAR 220V - 50Hz</b>					2000D	2 x 27	2 x 27	440	6	35/55	20	20	250	7
40	4	4	250	4	3500 D	3 x 27	3 x 30	440	6	90	33	33	250	7
105	14	16	250	4	<b>MERC. HALOG. PHILIPS HPIT 380V - 50Hz</b>					135	45	45	250	7
					2000	2 x 18	2 x 20	440	6	180	45	45	250	7

**Tabla XXXII** - Valores de capacitancia para corregir lámparas a descarga.



**Figura 45** – Tipos de conexión.



## 24. Corrección de factor de potencia – Fuerza motriz

### 24.1. Potencia del banco de capacitores

El cálculo de la potencia del banco de capacitores se determinará a partir de las siguientes tablas. Teniendo en cuenta el factor de potencia existente y el deseado, se obtiene de las tablas el valor de la constante K.

TAN $\Phi$ o Cos $\Phi$ ANTES DE LA COMPENSACIÓN (VALOR EXISTENTE)		TAN $\Phi$ o Cos $\Phi$ DESEADO (COMPENSADO)												
Tan $\Phi$	Cos $\Phi$	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
		0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40	1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
2,22	0,41	1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,032	2,225
2,16	0,42	1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
2,10	0,43	1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107
2,04	0,44	1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
1,98	0,45	1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,626	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988
1,93	0,46	1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
1,88	0,47	1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881
1,83	0,48	1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
1,78	0,49	1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782
1,73	0,50	0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
1,69	0,51	0,936	1,037	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686
1,64	0,52	0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
1,60	0,53	0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600
1,56	0,54	0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
1,52	0,55	0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
1,48	0,56	0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
1,44	0,57	0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
1,40	0,58	0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
1,37	0,59	0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
1,33	0,60	0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
1,30	0,61	0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299

Tabla XXXIII - factor "k" de compensación reactiva.



TAN $\Phi$ o Cos $\Phi$ ANTES DE LA COMPENSACIÓN (VALOR EXISTENTE)		TAN $\Phi$ o Cos $\Phi$ DESEADO (COMPENSADO)												
Tan $\Phi$		0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
	Cos $\Phi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
1,05	0,69	0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,796	0,811	0,878	1,020
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,86	0,76	0,105	0,225	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
0,78	0,79	0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,75	0,80		0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,72	0,81		0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,70	0,82		0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
0,67	0,83		0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672
0,65	0,84		0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,62	0,85		0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620
0,59	0,86			0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
0,57	0,87			0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567
0,54	0,88			0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
0,51	0,89			0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512
0,48	0,90				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

Tabla XXXIII - factor "k" de compensación reactiva.(continuación).



Se puede ingresar a la tabla a partir del  $\cos \varphi$  o la tangente  $\varphi$ . La tangente  $\varphi$  representa la cantidad de potencia reactiva necesaria por watt de consumo, es decir, una tangente  $\varphi$  baja corresponderá a un factor de potencia alto.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

Donde:

- Q: Potencia reactiva [var].
- P: Potencia activa [W].

Factor de potencia de la instalación sin compensar:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{78,56[kW]}{93[kV.A]} \Rightarrow \boxed{\cos \varphi = 0,84}$$

Factor de potencia deseado:

$$\boxed{\cos \varphi = 0,95}$$

Entrando a la tabla anterior, se obtiene un valor del factor k de:

$$\boxed{K = 0,317}$$

Potencia del banco de capacitores:

$$Q_c = K \cdot P[kW] = 0,317 \times 78,56[kW] \Rightarrow \boxed{Q_c = 25[kvar]}$$

Cabe señalar que los motores no estarán trabajando siempre al 100% de su capacidad nominal, con lo cual el factor de potencia de los mismos se reduce considerablemente, como se puede observar en la siguiente tabla:



Motor asíncrono	
Carga (%)	Factor de Potencia
0	0,17
25	0,55
50	0,73
75	0,8
100	0,85

**Tabla XXXIV** – Factor de potencia vs. Carga.

De manera que la potencia del banco de capacitores deberá ser superior a la obtenida en los cálculos preliminares, para cubrir este efecto se incrementará la misma en un 20 %.

Por otra parte, se preverán ampliaciones futuras de la planta, para que el banco de capacitores no quede limitado, se considerará una potencia del mismo un 40 % superior a los cálculos teóricos.

Por tanto, la potencia total del banco será de:

$$Q_C = 25 [kvar] \times 1.1 \times 1.4 \Rightarrow Q_C = 42 [kvar]$$

#### 24.2. Selección de los capacitores

Se instalarán, de acuerdo a los valores existentes en el mercado, los siguientes módulos:

- 1 Paso de 5 [kvar].
- 1 Paso de 10 [kvar].
- 2 Pasos de 15 [kvar].

Es decir una configuración 1.2.3.3, el segundo paso tiene el doble de potencia que el primero, y el tercer y cuarto paso el triple de potencia que el primero.



### Corriente Nominal de los capacitores

Para conexión en triángulo y corriente trifásica, es válida la siguiente ecuación para el cálculo de la corriente del capacitor:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Donde:

- $I_c$ : Corriente del capacitor [A].
- Q: Capacitancia total (suma de las tres capacitancias) [var].
- V: Tensión nominal del capacitor [V].

Por lo tanto, para el de 5 kvar:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{5000[\text{var}]}{\sqrt{3} \cdot 400[\text{V}]} \Rightarrow I_c = 7,2 [\text{A}]$$

Para el de 10 kvar:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{10000[\text{var}]}{\sqrt{3} \cdot 400[\text{V}]} \Rightarrow I_c = 14,4 [\text{A}]$$

Para los de 15 kvar:

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{15000[\text{var}]}{\sqrt{3} \cdot 400[\text{V}]} \Rightarrow I_c = 21,6 [\text{A}]$$



### 24.3. Contactores

Los contactores del banco automático de capacitores se seleccionaron de acuerdo a la potencia máxima de empleo, según la siguiente tabla:

Tabla de elección de contactores específicos para el mando de contactores						
220 V 240 V kVAr	400 V 440 V kVAr	660 V 690 V kVAr	Contac. "NA"	Aux. "NC"	Par de apriete Nm	Ref. básica LC1
6,7	12,5	18	1	1	1,2	DFK11..
10	20	30	1	1	1,9	DLK11..
15	25	36	1	1	2,5	DMK11..
20	33,3	48	1	2	5	DPK12..
25	40	58	1	2	5	DTK12..
40	60	92	1	2	11	DWK12..

**Tabla XXXV** – Selección de contactores

- El paso de 5 [kvar] será operado a través de un contactor **LC1-DFK11**.
- El paso de 10 [kvar] será operado a través de un contactor **LC1-DFK11**.
- Los pasos de 15 [kvar] serán operados a través de contactores **LC1-DLK11**.

### 24.4. Regulador Automático

#### Cálculo de C/K

El valor de C/K se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$C/K = \frac{Q_1}{\sqrt{3} \cdot U \cdot R_{T1}}$$

Donde:

- **Q1**: Potencia del primer escalón, escalón base [var].
- **U**: Tensión de red [V].
- **R<sub>T1</sub>**: Relación de transformación del transformador de intensidad.



Datos:

- Q1: 5.000 [var].
- U: 380 [V].
- $R_{TI}$ : 250/5

$$C/K = \frac{Q_1}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 380} \Rightarrow \boxed{C/K = 0,15}$$

#### 24.5. Barras de distribución principales

Las dimensiones de las barras se determinarán de acuerdo a la corriente de proyecto, siendo la misma 1,5 veces la corriente nominal del banco de capacitores.

La corriente nominal de los capacitores se determinó anteriormente en la Página Nº 131, donde se arribó a los subsiguientes valores:

Paso de 5 kvar:

$$I_C = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{5000[\text{var}]}{\sqrt{3} \cdot 400[\text{V}]} \Rightarrow \boxed{I_C = 7,2 [\text{A}]}$$

Paso de 10 kvar:

$$I_C = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{10000[\text{var}]}{\sqrt{3} \cdot 400[\text{V}]} \Rightarrow \boxed{I_C = 14,4 [\text{A}]}$$

Pasos de 15 kvar:

$$I_C = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{15000[\text{var}]}{\sqrt{3} \cdot 400[\text{V}]} \Rightarrow \boxed{I_C = 21,6 [\text{A}]}$$

Corriente nominal del banco:

$$I_n = 7,2 [\text{A}] + 14,4 [\text{A}] + 2 \times 21,6 [\text{A}] \Rightarrow \boxed{I_n = 64,8 [\text{A}]}$$

Corriente de diseño:

$$I_d = 64,8 [\text{A}] \times 1,5 \Rightarrow \boxed{I_d = 97,2 [\text{A}]}$$



La sección adecuada para las barras de distribución se determinará a partir de la Tabla 771.16.XII, correspondiente a la Reglamentación AEA 90364-7-771.

Datos para la selección:

- Corriente: alterna.
- Frecuencia: 50 Hz.
- Cantidad de barras por fase: 1.
- Característica: Desnuda.
- Corriente: 100 [A].

Resultado obtenido:

Dimensiones Ancho x espesor [mm x mm]	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Peso [kg/m]	Corriente admisible [A]
15 x 3	44,5	0,396	162

**Tabla XXXVI** – Selección de barras.

#### 24.6. Alimentador principal

##### Determinación de la corriente de proyecto

Se trata de un sistema trifásico, con lo cual la corriente de proyecto se determina de la siguiente manera:

$$I_B = \frac{DPM}{\sqrt{3} \cdot 0,38 [kV]} = \frac{45 [kvar]}{\sqrt{3} \cdot 0,38 [kV]} \Rightarrow \boxed{I_B = 68,37 [A]}$$

Elección del conductor a partir de su corriente máxima admisible



Se admiten para instalaciones fijas en interiores, en cañería o cablecanales con tapa removible, conductores IRAM 247-3, IRAM 2178, IRAM 62266, IRAM 62267 e IRAM 2268.

La temperatura ambiente se definió en 30 °C, con lo cual el factor de corrección por temperatura será 1,15, de acuerdo a Tabla 771.16.II.a, de la reglamentación AEA.

Como se trata de un único circuito por caño, el factor de corrección por agrupamiento de circuitos será 1, de acuerdo a Tabla 771.16.II, de la reglamentación AEA.

En resumen los factores de corrección adoptados son:

Por temperatura  $f_T = 1,15$

Por agrupamiento de circuitos  $f_A = 1$

$$I_Z' = \frac{I_B}{f_T \cdot f_A} = \frac{68,37 [A]}{1,15 \times 1} = 59,45 [A]$$

Selección de la sección de conductor a partir de su intensidad de corriente admisible, de acuerdo a Tabla 771.16.I, de la reglamentación AEA.

$$S = 25 \text{ mm}^2, \text{ sección que soporta una } I_{adm} = 77 [A]$$

Teniendo en cuenta los factores de corrección adoptados, la intensidad de corriente admisible en las condiciones de la instalación será:

$$I_Z = 77 \times 1,15 \times 1 \Rightarrow I_Z = 88,55 [A]$$

Se verifica que  $I_Z \geq I_B$  por lo tanto la sección elegida es apta para la corriente de proyecto del alimentador principal del banco de capacitores.



**Por lo tanto el conductor del Alimentador del banco de capacitores, será: IRAM NM 247-3, aislación PVC de  $S = 3x(1x25) [mm^2]$**

El banco de capacitores se vinculará a las barras del CCM de forma directa, sin dispositivo de protección, ya que ambos tableros estarán unidos lateralmente y las conexiones entre ambos se efectuarán dentro del recinto de los tableros.

#### 24.7. *Envolvente – Cálculos térmicos*

Para el cálculo de disipación térmica se deberá verificar que:

$$P_{tot} \leq P_{de}$$

Donde:

- $P_{de}$ : Potencia máxima disipable por la envolvente en uso normal, en [W], declarada por el fabricante.
- $P_{tot} = P_{dp} + 0,2 \times P_{dp} + P_{au}$ 
  - $P_{tot}$ : Potencia total disipada en el tablero en [W].
  - $P_{dp}$ : Potencia disipada por dispositivos de protección en [W], tomando en cuenta el factor de utilización  $K_e$  y el factor de simultaneidad  $K$ .
  - $0,2 \times P_{dp}$ : Potencia total disipada por las conexiones.
  - $P_{au}$ : Potencia total disipada por los otros dispositivos y aparatos eléctricos instalados en el tablero y no incluidos en  $P_{dp}$  y en  $0,2 \times P_{dp}$ .
- $I_{nq}$ : Producto entre la corriente asignada del dispositivo de maniobra y protección en la cabecera del tablero y  $K_e$ .
- $K_e$ : Factor de utilización, que es la relación entre la corriente que realmente circula por el dispositivo de protección de cabecera del tablero y la corriente asignada a dicho dispositivo. Por convención se lo toma igual 0,85.



- $K$ : Factor de simultaneidad, que es la relación entre la corriente asignada del tablero ( $I_{nq}$ ) y la corriente asignada de salida ( $I_{nu}$ ). Si el dispositivo de cabecera no es un interruptor termomagnético, la corriente de asignada del tablero ( $I_{nq}$ ) se considera igual a ( $I_{nu}$ )

Para determinar la disipación térmica producida por el banco de capacitores, es necesario determinar la potencia disipada por cada uno de los elementos constitutivos del mismo.

La potencia disipada por las barras de cobre se determinó de forma analítica, y la correspondiente a los restantes elementos se extrajo de sus especificaciones técnicas.

### *Cálculo de potencia disipada por barras de cobre*

La potencia disipada por efecto Joule en las barras de distribución de cobre se determinó de forma teórica mediante la aplicación de las fórmulas correspondientes.

De acuerdo al efecto Joule, la potencia perdida o disipada en forma de calor por un elemento conductor, son proporcionales al cuadrado de la intensidad:

$$P = I^2 \times R$$

Donde

- P: Potencia disipada por efecto Joule [W].
- I: Intensidad [A].
- R: Resistencia del material [ $\Omega$ ].

La resistencia de la barra de cobre se determinará a partir de su resistividad y sus dimensiones:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Donde

- R: Resistencia [ $\Omega$ ].
- $\rho$ : Resistividad a 20°C [ $\Omega \cdot m$ ].
- l: Longitud [m].
- S: Sección transversal [ $m^2$ ].



La resistividad del cobre se obtiene de la Tabla XXXVII:

Material	Resistividad (en 20 °C-25 °C) ( $\Omega \cdot m$ )
Plata <sup>2</sup>	$1,55 \times 10^{-8}$
Cobre <sup>3</sup>	$1,71 \times 10^{-8}$
Oro <sup>4</sup>	$2,35 \times 10^{-8}$
Aluminio <sup>5</sup>	$2,82 \times 10^{-8}$
Wolframio <sup>6</sup>	$5,65 \times 10^{-8}$
Níquel <sup>7</sup>	$6,40 \times 10^{-8}$
Hierro <sup>8</sup>	$9,71 \times 10^{-8}$
Platino <sup>9</sup>	$10,60 \times 10^{-8}$
Estaño <sup>10</sup>	$11,50 \times 10^{-8}$
Acero inoxidable 301 <sup>11</sup>	$72,00 \times 10^{-8}$
Grafito <sup>12</sup>	$60,00 \times 10^{-8}$

Tabla XXXVII – Resistividad de materiales a 20 °C.

Características de las barras:

- Dimensiones (Ancho x Espesor): 15x3 mm (0,015x0,003 m).
- Sección: 44,5 mm<sup>2</sup> (0,000045 m<sup>2</sup>).
- Longitud: 300 mm (0,3 m).

Por lo tanto la resistencia será:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 1,71 \times 10^{-8} [\Omega \cdot m] \times \frac{0,3 [m]}{0,000045 [m^2]} \Rightarrow \boxed{R = 1,14 \times 10^{-4} [\Omega]}$$

Se puede observar que se trata de un valor de resistencia pequeño.

La potencia disipada considerando la intensidad de diseño de 100 A, será:

$$P = I^2 \times R = 100^2 [A^2] \times 1,14 \times 10^{-4} [\Omega] \Rightarrow \boxed{P = 1,14 [W]}$$



### Cálculo de $P_{dp}$

En la Tabla XXXVIII se detalla el cálculo de la potencia disipada por los dispositivos de protección.

	Núm. circuito	Característica	Potencia disipada por dispositivo $P_d$ [W]	Factor de utilización $K_e$ $K$	Pot. disipada total [W]
Interruptor seccionador	00	100 A	25	0,85	18,06
Seccionador con fusibles NH	01	3x16 A	9	0,77	5,34
	02	3x25 A	12	0,77	7,11
	03	3x35 A	15	0,77	8,89
	04	3x35 A	15	0,77	8,89
<b><math>P_{dp}</math></b>					<b>48,30</b>

**Tabla XXXVIII** – Cálculo de  $P_{dp}$

Determinación de los factores de utilización ( $K_e$ ) y de simultaneidad ( $K$ )

#### Circuito 00

Se considera el valor convencional  $K_e=0,85$ .

Por tratarse de un circuito de entrada, el valor de la potencia disipada total por este elemento se calcula como  $K_e^2 \times P_d$

#### Circuitos 01, 02, 03 y 04

El factor de simultaneidad se determina de la siguiente manera:

$$K = I_{nq} / (I_{nu1} + I_{nu2} + I_{nu3} + I_{nu4}) = 85 / (16 + 25 + 35 + 35) \Rightarrow \boxed{K = 0,77}$$

Por tratarse de un circuito de salida, el valor de la potencia disipada total por estos elementos se calcula como  $K^2 \times P_d$



### Cálculo de $P_{au}$

En la Tabla XXXIX se detalla el cálculo de la potencia disipada por los dispositivos no contemplados en  $P_d$ .

	Núm. circuito	Característica	Potencia disipada por dispositivo [W]	Cant.	Pot. disipada total [W]
Barras de cobre	-	100 A	1,15	3	3,45
Contactores trifásicos (bobina C.A)	05	25 A	27	1	27
	06	25 A	27	1	27
	07	50 A	54	1	54
	08	50 A	54	1	54
Capacitor Trifásico	9	5 kvar	6,25	1	6,25
	10	10 kvar	12,5	1	12,5
	11	15 kvar	18,75	1	18,75
	12	15 kvar	18,75	1	18,75
<b><math>P_{au}</math></b>					<b>221,70</b>

Tabla XXXIX – Cálculo de  $P_{au}$

### Cálculo de $P_{tot}$

La potencia total disipada en el tablero se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$P_{tot} = P_{dp} + 0,2 \times P_{dp} + P_{au}$$

Por lo tanto:

$$P_{tot} = 48,3 + 0,2 \times 48,3 + 221,7 \Rightarrow \boxed{P_{tot} \approx 280 [W]}$$

A partir de los cálculos precedentes, se concluye que la envolvente del banco de capacitores debe tener una potencia máxima disipable ( $P_{de}$ ) declarada por el fabricante superior a 280 W. Dicha capacidad de disipación debe ser certificada bajo la responsabilidad del fabricante.



Dado el elevado valor de disipación térmica, las dimensiones de la envolvente capaz de disipar dicha potencia serán desproporcionadas.

Para solucionar este inconveniente se colocarán ventiladores, los cuales aumentarán significativamente la potencia disipable por el tablero.

### *Cálculo de envolvente mediante Software*

Para contrastar los cálculos teóricos realizados, se determinó mediante software la envolvente necesaria para el banco de capacitores.

De acuerdo a los elementos instalados, la temperatura en el interior del tablero no deberá superar los 50°C. Para los cálculos se adoptó 45°C.

El software a utilizar se denomina **ProClima 5.2**, de Schneider Electric, y los datos ingresados para el cálculo son los siguientes:

Datos de temperatura:

- Temperatura máxima exterior tablero: 34 °C.
- Temperatura mínima exterior tablero: 10 °C.
- Temperatura máxima interior tablero: 45 °C.
- Temperatura mínima interior tablero: 10 °C.
- Humedad relativa ambiente: 70 %.
- Altura sobre nivel del mar: 80 metros.

Datos de potencia disipada:

- 300 [W].

Datos de envolvente:

- Marca: Schneider Electric.
- Modelo: Monobloc de acero con placa de montaje.
- Montaje: Colocado contra pared.



Luego se concluye que para lograr una temperatura interior menor o igual a 45 °C, la envolvente deberá tener las siguientes dimensiones:

- Alto: 1800 mm.
- Ancho: 1200 mm.
- Profundidad: 400 mm.
- Volumen interior: 0,864 m<sup>3</sup>.

O cualquier otra combinación de dimensiones con volumen interior superior a 0,86 m<sup>3</sup>.

Como se mencionó anteriormente, las dimensiones necesarias para disipar la potencia generada son desproporcionadas.

Para evitar este inconveniente se colocarán forzadores para la circulación de aire interior al tablero, de esta manera se obtienen dimensiones más acordes con los elementos instalados.

Se determinaron las dimensiones del tablero de acuerdo al espacio requerido por sus componentes, luego se procedió al cálculo térmico y a la selección del forzador de aire necesario.

Datos de envolvente:

- Marca: Schneider Electric.
- Modelo: Monobloc de acero con placa de montaje.
- Montaje: Colocado contra pared.
- Alto: 1200 mm.
- Ancho: 1000 mm.
- Profundidad: 300 mm.
- Volumen interior: 0,36 m<sup>3</sup>.

Temperatura sin ventilador: 53 °C.



Características del ventilador:

- Marca: Schneider Electric.
- Modelo: NSYCVF85M230PF.
- Caudal: 63 m<sup>3</sup>/h.
- Estanqueidad: IP 54.

Temperatura con ventilador: 45 °C.

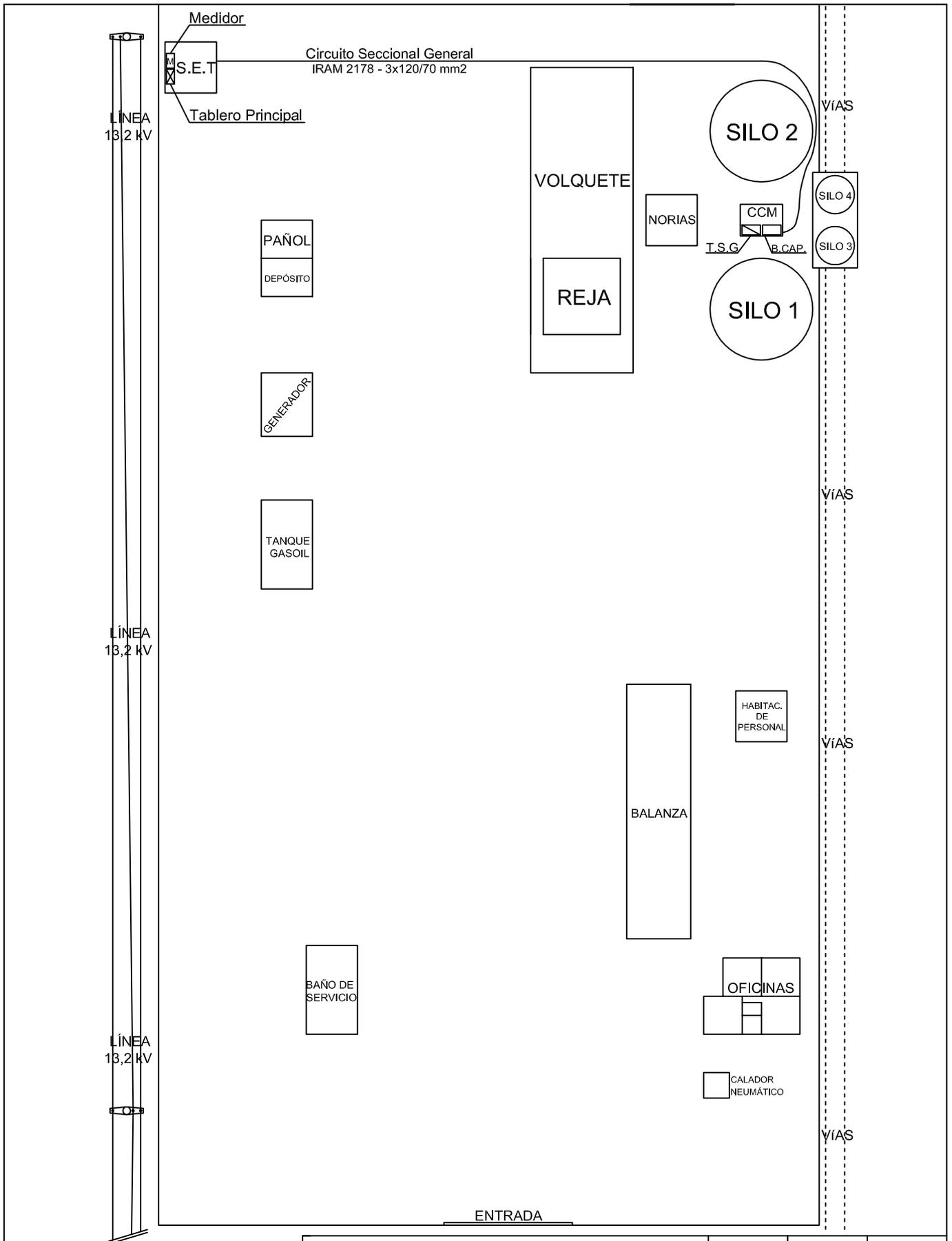


## Bibliografía

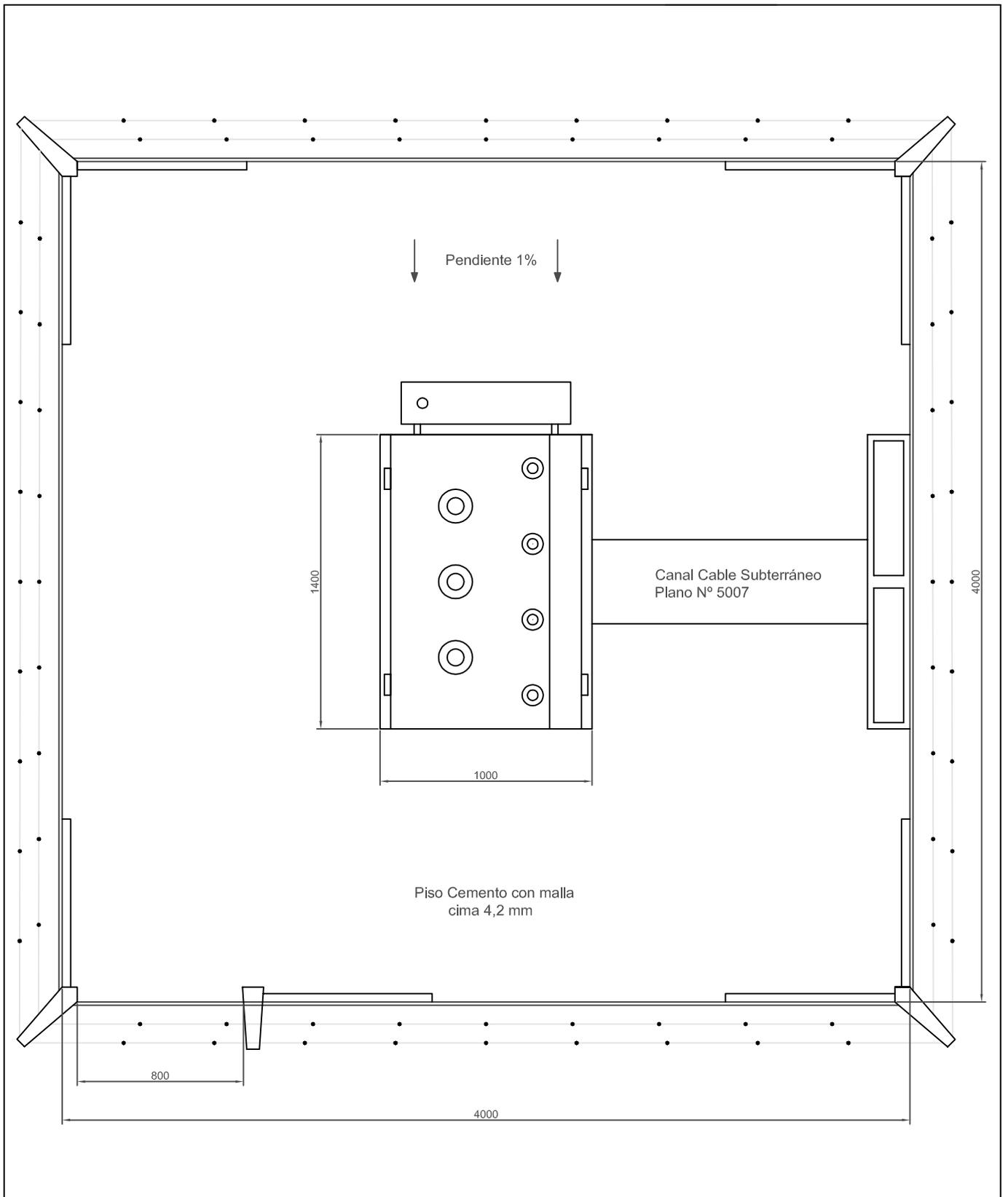
- Página oficial Schneider Electric, <http://www.schneiderelectric.es>.
- Página oficial Osram, <http://www.osram.com.ar>.
- Página oficial de normas IRAM, <http://www.iram.org.ar>.
- Página oficial Circutor, <http://www.circutor.es>.
- Software ProClima 5.2, Schneider Electric, Cálculo de disipación térmica en tableros.
- Catálogo de interruptores compactos Merlin Gerín.
- Manual de Compensación de Energía Reactiva y Filtrado de Armónicos, Schneider Electric.
- Manual Regulador de Reactiva Varlogic R6/12, Schneider Electric.
- Reglamento Técnico y Normas Generales para el Proyecto y Ejecución de Obras de Electrificación Rural.
- AEA 90364-7-771 edición 2006, Reglamentación Para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles.
- Material de la asignatura Introducción a la Economía.
- Material de la asignatura Instalaciones Industriales.
- Material de la asignatura Seguridad e Higiene.
- Material de la asignatura Instalaciones Eléctricas.
- Material de la asignatura Centrales y Sistemas de Transmisión y Distribución.
- Ley de Seguridad e Higiene en Trabajo 19.587.



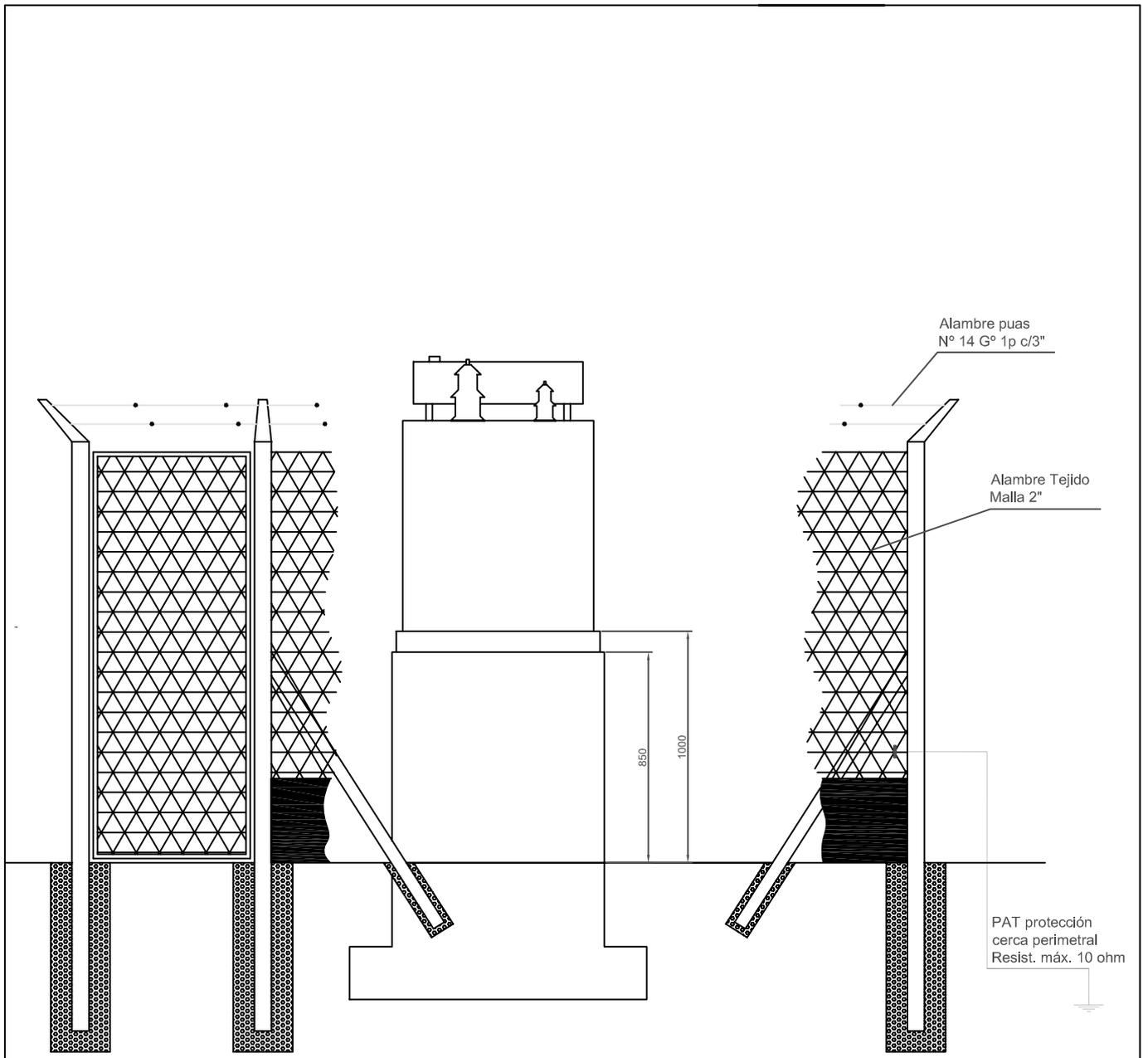
# Anexo Planos



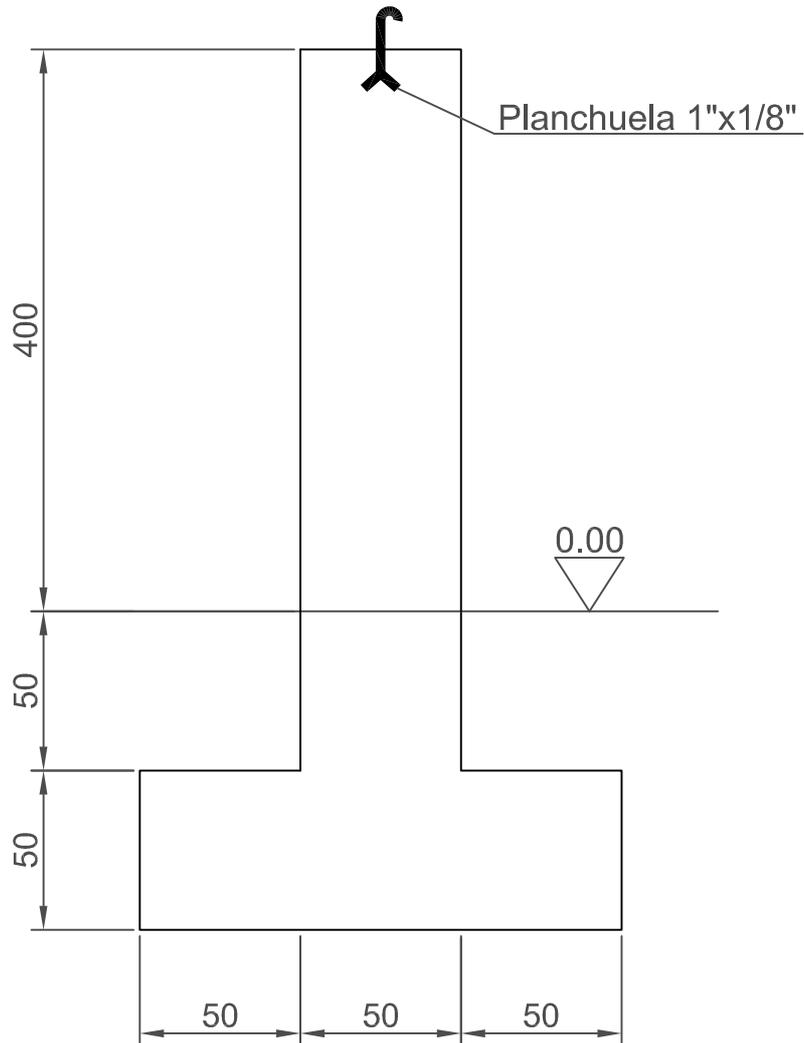
Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	01	S/E	A4
<b>Planta Duhau - Vista en planta</b>			
Dibujó:		Alejandro M. Hazelhoff	
Revisó / Aprobó:			
Cargill S.A.C.I		Fecha:	
Trenque Lauquen - Bs. As.		19/03/2013	



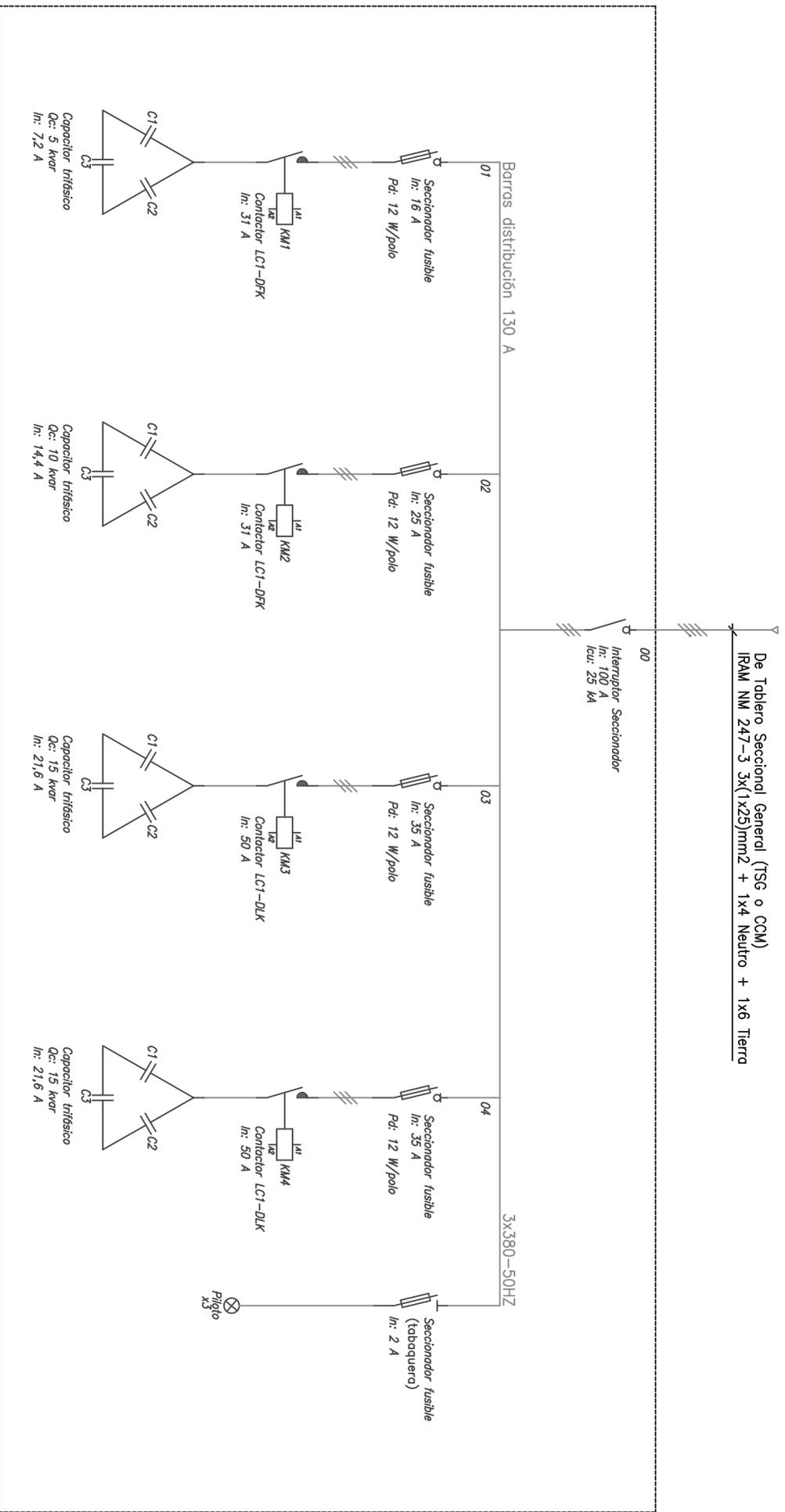
Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	02	S/E	A4
<b>S.E.T - Vista en Planta</b>	Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff		
	Revisó / Aprobó:		
Cargill S.A.C.I	Fecha: 19/03/2013		
Trenque Lauquen - Bs. As.			



Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	03	S/E	A4
S.E.T - Vista Lateral	Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff		
	Revisó / Aprobó:		
Cargill S.A.C.I	Fecha: 19/03/2013		
Trenque Lauquen - Bs. As.			



Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	04	S/E	A4
<b>S.E.T - Murete Perimetral</b>	Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff		
	Revisó / Aprobó:		
Cargill S.A.C.I	Fecha: 19/03/2013		
Trenque Lauquen - Bs. As.			



De Tablero Seccional General (TSG o CCM)  
 RAM NM 247-3 3x(1x25)mm<sup>2</sup> + 1x4 Neutro + 1x6 Tierra

Interruptor Seccionador  
 In: 100 A  
 Icu: 25 kA

Barras distribución 130 A

3x380-50HZ

Seccionador fusible  
 In: 16 A  
 Pd: 12 W/polo

Seccionador fusible  
 In: 25 A  
 Pd: 12 W/polo

Seccionador fusible  
 In: 35 A  
 Pd: 12 W/polo

Seccionador fusible  
 In: 35 A  
 Pd: 12 W/polo

Seccionador fusible  
 (taboquero)  
 In: 2 A

Contactor LC1-DRK  
 In: 31 A

Contactor LC1-DRK  
 In: 31 A

Contactor LC1-DLK  
 In: 50 A

Contactor LC1-DLK  
 In: 50 A

Capacitor trifasico  
 Qc: 5 kvar  
 In: 7.2 A

Capacitor trifasico  
 Qc: 10 kvar  
 In: 14.4 A

Capacitor trifasico  
 Qc: 15 kvar  
 In: 21.6 A

Capacitor trifasico  
 Qc: 15 kvar  
 In: 21.6 A

Pliego  
 x3

Descripción:

## Banco de Capacitores - Unifilar

Cargill S.A.C.I

Trenque Lauquen - Bs. As.

Plano N°: Escala: Formato:

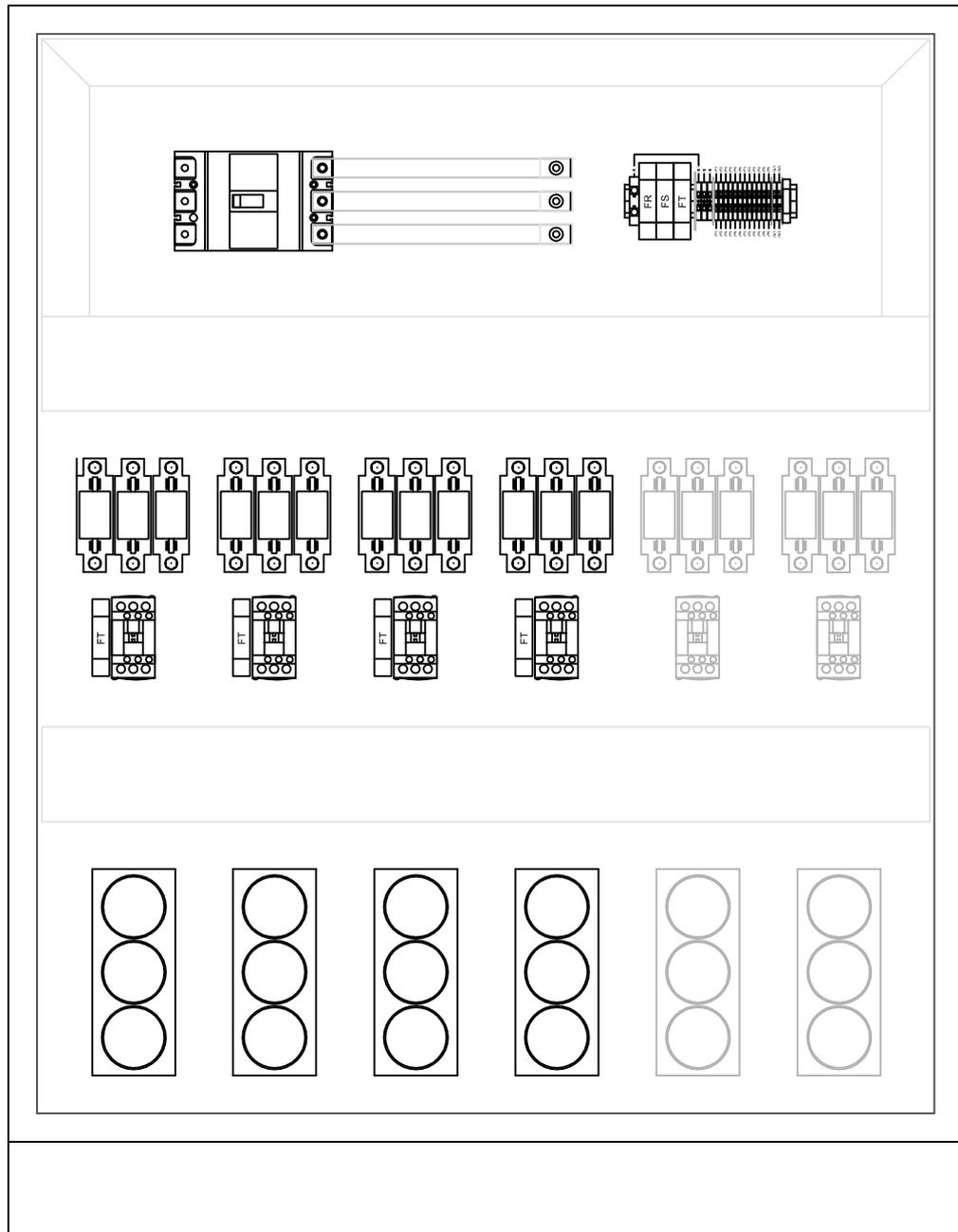
05 S/E A4

Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff

Revisó / Aprobó:

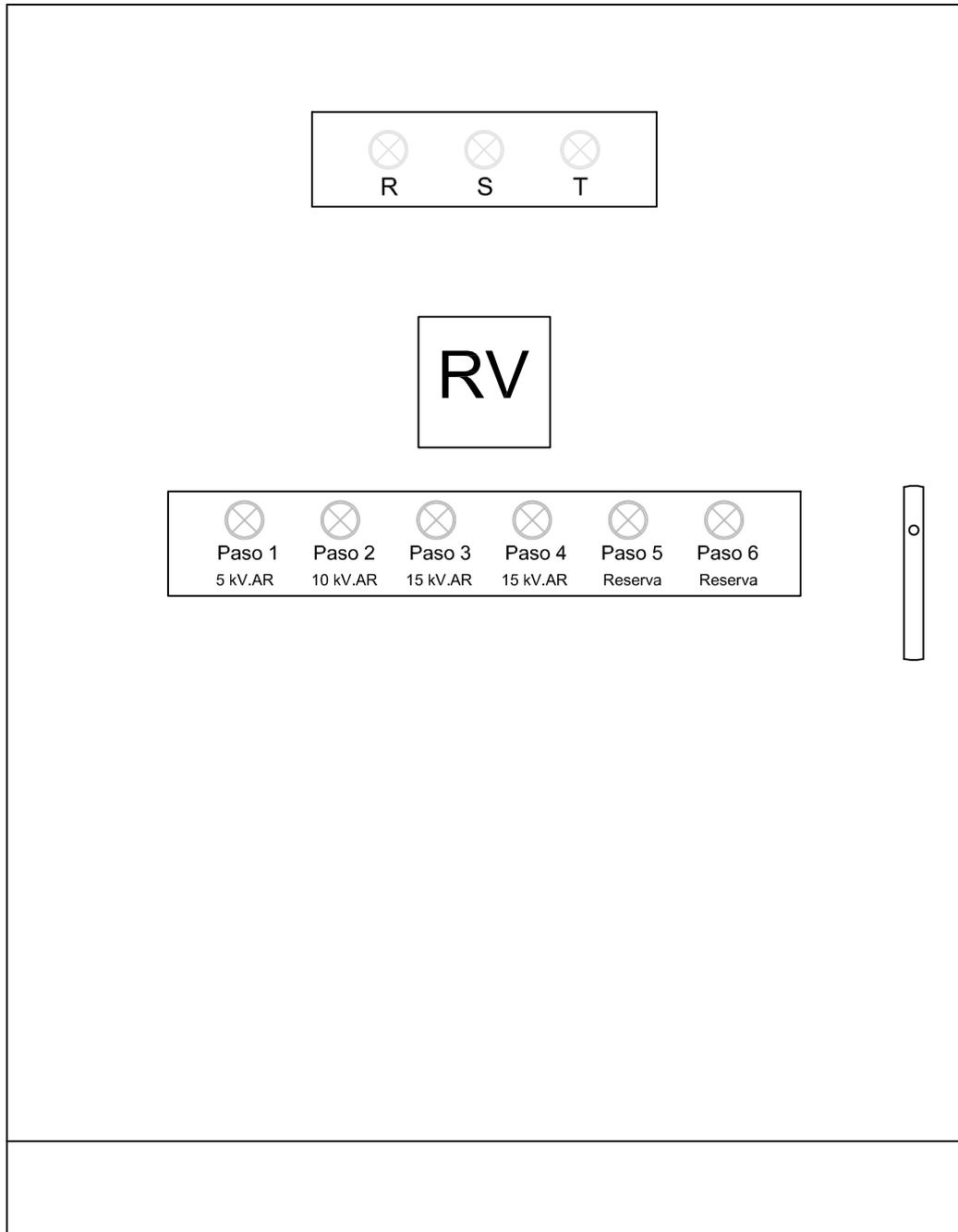
Fecha: 25/04/2013

# Ubicación Elementos

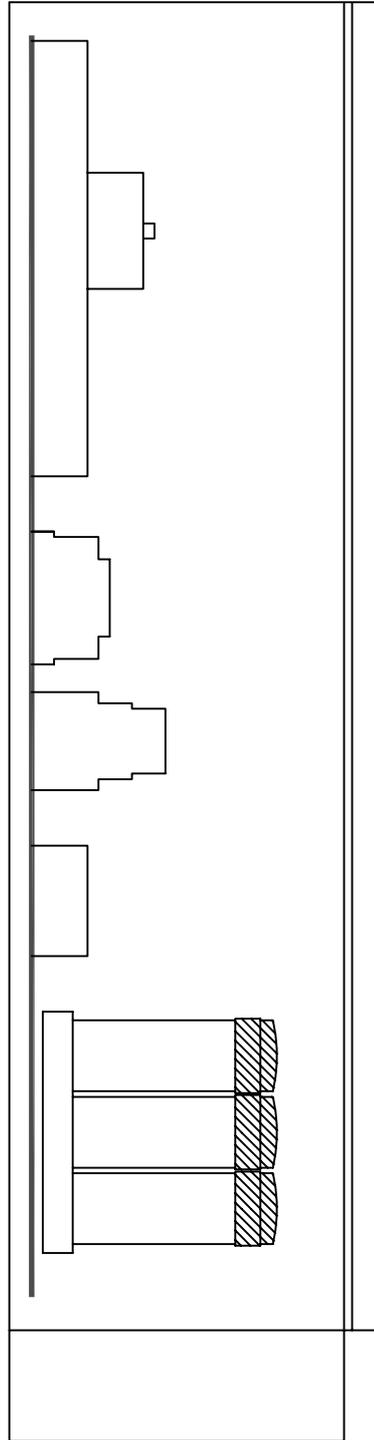


Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	06	S/E	A4
<b>Banco de Capacitores - Esquemático</b>			
Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff			
Revisó / Aprobó:			
Cargill S.A.C.I		Fecha: 19/03/2013	
Trenque Lauquen - Bs. As.			

# Detalle de Puerta



Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	07	S/E	A4
<b>Banco de Capacitores - Exterior</b>	Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff		
	Revisó / Aprobó:		
Cargill S.A.C.I	Fecha: 19/03/2013		
Trenque Lauquen - Bs. As.			



Descripción:	Plano N°:	Escala:	Formato:
	08	S/E	A4
<b>Banco de Capacitores - Esquemático</b>	Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff		
	Revisó / Aprobó:		
Cargill S.A.C.I	Fecha: 19/03/2013		
Trenque Lauquen - Bs. As.			

  
 Línea Media Tensión  
 Aleación Aluminio 35 mm<sup>2</sup>

**S.E.T**  
 Rt: 13,2/0,4 kV  
 S: 150 kV.A

Línea de Alimentación de la Distribuidora (8 m)  
 IRAM 2178 - 3x120/70 mm<sup>2</sup>

**M**  
 Medidor trifásico  
 Tarifa T3BT

Línea Principal (2 m)  
 IRAM 2178 - 3x120/70 mm<sup>2</sup>

**T.P**  
 Tablero Principal  
 Interruptor compacto 250 A

Circuito Seccional General (45 m)  
 IRAM 2178 - 3x120/70 mm<sup>2</sup>

**T.S.G**  
 (C.C.M)

Alimentador Bco. Capacitores (2 m)  
 NM 247-3 - 3x(1x25) mm<sup>2</sup>

Banco  
 de  
 Capacitores

Descripción:  <b>Esquema Eléctrico General</b>  Cargill S.A.C.I  Trenque Lauquen - Bs. As.	Plano N°:	Escala:	Formato:
	09	S/E	A4
	Dibujó: Alejandro M. Hazelhoff		
	Revisó / Aprobó:		
Fecha:		19/03/2013	

**Tabla de Tendido Línea de Media Tensión**



<b>Piquete</b>	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		
Vano [m]		80		80		80		80		80		80		80		80		80		80		80	
Progresivo [m]	0		80		160		240		320		400		480		560		640		720		800		
Ang. Desvío [m]	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		
Soporte Tipo	T		S		S		S		S		S		S		S		S		S		S		
Cruceta Material	H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		
Cruceta Long. [m]	1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		
Poste Material	H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		H°A°		
Poste Tipo	9/700/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		
Diam. Cima (cm)	26		14		14		14		14		14		14		14		14		14		14		
Empotramiento [m]	1,5		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		
Fundación [m]	0,8x0,8x1,7		-		-		-		-		-		-		-		-		-		-		



<b>Piquete</b>	12		13		14		15		16		17		18		19		20		21	
Vano [m]		80		80		80		80		80		80		80		80		80		80
Progresivo [m]	880		960		1040		1120		1200		1280		1360		1440		1520		1600	
Ang. Desvío [m]	-		-		-		-		-		-		-		-		-		-	
Soporte Tipo	S		S		S		S		S		S		S		S		S		T	
Cruceta Material	H°A°		H°A°																	
Cruceta Long. [m]	1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Poste Material	H°A°		H°A°																	
Poste Tipo	9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/150/3		9/700/3	
Diam. Cima [cm]	14		14		14		14		14		14		14		14		14		26	
Empotramiento [m]	2		2		2		2		2		2		2		2		2		1,5	
Fundación [m]	-		-		-		-		-		-		-		-		-		0,8x0,8x1,7	