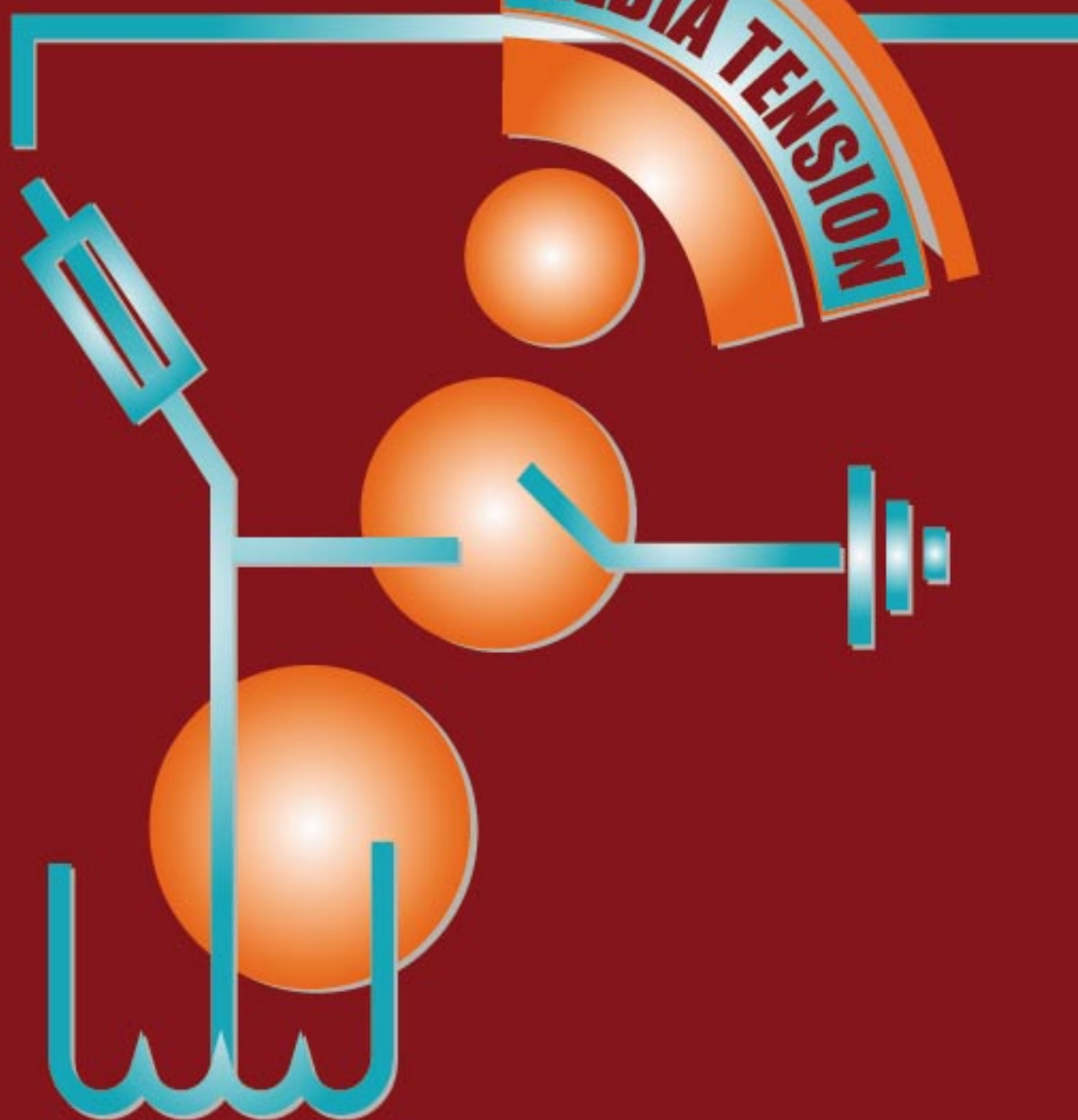


**INSTALACIONES
ELECTRICAS EN**

MEDIA TENSION



MISION DE PROCOBRE

Nuestra misión es promover el uso del cobre y sus aleaciones, especialmente en Chile y Latinoamérica, fomentando una disposición favorable hacia su utilización e impulsando la investigación y el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Colabora y trabaja coordinadamente con las empresas, el gobierno y los organismos relacionados con el cobre para materializar una acción convergente, con visión de largo plazo a nivel mundial.

Registro de Propiedad Intelectual:

N°

ISBN:

1ª Edición 2003

Elaborado por:

Programa de Estudios e Investigaciones en Energía.

Instituto de Asuntos Públicos, Universidad de Chile.

Se agradece la colaboración de los ingenieros:
Guillermo Andrés Jiménez E. y Francisco Quintana

Procobre-Chile

Av. Nueva de Lyon 96, Of. 305, Edificio Costanera

Teléfono: 335 3264

Fax: 335 3264, anexo 111

Santiago de Chile

Diseño y Diagramación

Erica Paluba

Impresión

Impresos Lahosa S.A.



PRO  **BRE**
La Conexión Vital.™

C  **PPER**
International Copper Association, Ltd.

INSTALACIONES ELECTRICAS EN MEDIA TENSION

**APLICACIONES Y ANALISIS DE CASOS
CODIGO DE INSTALACIONES EN MEDIA TENSION**

Copper Connects Life.™

INDICE

APLICACIONES Y ANALISIS DE CASOS

1

Dimensionamiento de conductores en una instalación industrial de 24kV / 4,16 kV. /PAG. 4

Dimensionamiento del sistema de alumbrado.

Conductores para el Centro de Control de Motores.

Protección contra sobrecargas.

Conductores para la alimentación de hornos eléctricos.

2

Alimentación en 24 kV de un área comercial. /PAG. 16

Centro de seccionamiento y medida. Centro de transformación

Dimensionamiento de líneas subterráneas de distribución.

Dimensionamiento de ductos y tubería.

Canalizaciones y cámaras.

3

Dimensionamiento económico de cables de alimentación de 10 subestaciones de 13,2 kV / 0,38 kV. /PAG. 32

Datos financieros.

Datos de cables.

Selección de la sección económica de un conductor.

INTRODUCCION

El trabajo que se entrega a continuación incorpora, en un solo texto, las Leyes y Reglamentos obligatorios, aprobadas por la autoridad, que son aplicables a las instalaciones de media tensión. A través de un análisis de casos de aplicación se hace uso de los conceptos que la autoridad ha legislado y reglamentado, de modo que el usuario pueda vincular, con mayor facilidad y en casos reales, el uso correcto de los principales aspectos que la autoridad ha decidido precisar.

No se ha incluido el texto completo de las Normas Chilenas aplicables a Instalaciones de Media Tensión, optándose por transcribir párrafos escogidos vinculados con cada uno de los ejemplos desarrollados. Del mismo modo, cada vez que se consideró necesario, se transcribió párrafos seleccionados de Normas Internacionales, ya sea para que el usuario pudiese comparar lo aplicable en Chile con lo que se emplea en otros países, o simplemente porque la Norma Chilena todavía no ha establecido lo que debe aplicarse en el país.

Adicionalmente al texto se adjunta, un archivo en Microsoft Power Point, que permite visualizar el contenido del Código de Instalaciones de Media Tensión planteado. En el archivo, es posible visitar –según la pantalla que se seleccione- la Ley o Reglamento que se desea consultar. Del mismo modo, es posible visualizar pantallas de aplicación o análisis de casos planteados. Además de estas pantallas se puede acceder a un documento que describe en detalle el ejemplo analizado y cada uno de los cálculos realizados.

APLICACIONES Y ANÁLISIS DE CASOS

CASO N° 1. Dimensionamiento de conductores en una instalación industrial de 24 kV / 4,16 kV.

Considérese una industria como la que se muestra en la Figura 1.1.

Calcular las potencias de los transformadores, protecciones, sección mínima de los conductores y diseñar las canalizaciones correspondientes desde la toma de media tensión basándose en la información entregada a continuación:

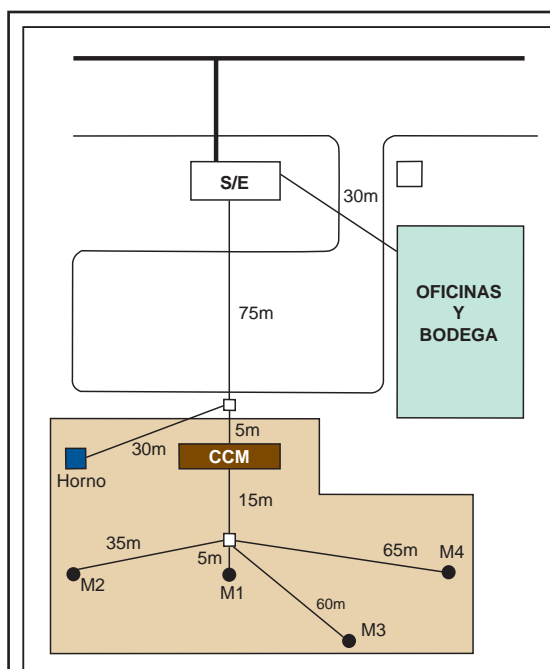


Figura 1.1. Esquema de planta industrial.

- Los transformadores se encuentran ubicados en la subestación. El transformador general es trifásico con relación de transformación 23kV/4,16 kV, el transformador para servicios generales y alumbrado es trifásico con relación de transformación 4,16 kV/380V.

- Las potencias de los motores M1, M2, M3 y M4 son 100, 75, 200 y 300 HP respectivamente a 4,16 kV. Todos los motores son de inducción y con rotor de jaula de ardilla. El motor 3 es de régimen intermitente. Considere que los motores funcionan a un factor de potencia de 0,85

- El horno posee una potencia de 50 kW a 4,16 kV.

- Es necesario proyectar los alimentadores trifásicos para el suministro de energía en las áreas de oficinas, bodega y proceso, de acuerdo a los siguientes datos:

- Alumbrado oficinas y bodega	4 kW
- Alumbrado área de proceso	5 kW
- Enchufes oficinas	3 kW
- Enchufes bodega	4 kW
- Enchufes área de proceso	5 kW

SOLUCION

ALUMBRADO Y ENCHUFES

Se proyectan 2 alimentadores trifásicos para alumbrado y enchufes, los cuales se especifican de la siguiente manera:

Alumbrado y enchufes de oficinas y bodegas

Estimación de cargas (sección 7.2.1.1. (b) de la NCh Elec. 4/2003)

7.2.1.- Estimación de cargas

7.2.1.1.- La carga nominal de un alimentador, según la cual se dimensionará, no será menor que la suma de las cargas de todos los circuitos que sirve el alimentador, determinadas de acuerdo a las secciones 11 y siguientes, y sujetas a las siguientes disposiciones:

b) Para alimentadores que sirven consumos de alumbrado exclusivamente a la carga total de los circuitos determinada de acuerdo a la sección 11 se le aplicarán los factores de demanda señalados en la tabla N° 7.5.

Estos factores de demanda no se aplicarán sobre subalimentadores en los que puede estar presente la totalidad de la carga en forma per-

TABLA N 7.5 DE NCh Elec. 4/2003
FACTORES DE DEMANDA PARA CALCULO DE ALIMENTADORES
DE ALUMBRADO

tipo de consumidor	potencia sobre la que se aplica el factor de demanda		factor de demanda
Casa habitación	Primeros	3,0	1,00
	Sobre	3,0	0,35
Hospitales	Primeros	50,0	0,40
	Sobre	50,0	0,20
Hoteles y moteles	Primeros	20	0,50
	Desde	20,1 a 100	0,40
	Sobre	100,0	0,30
Bodegas	Primeros	15	1,00
	Sobre	15	0,50
Todo otro tipo	Toda la potencia		1,00

manente o esporádica por períodos superiores a 15 minutos.

Se aceptarán factores de demanda distintos a los valores indicados en esta tabla, cuando mediante un estudio realizado sobre la base de las características de uso de instalación o las de proceso, se justifique dicho valor.

Aplicando la Tabla 7.5,

$$11.000 \text{ W al } 100 \% = 11.000 \text{ W}$$

Por lo tanto la corriente nominal del alimentador es, (se supone un alimentador trifásico con cargas equilibradas)

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 17A$$

Protecciones: (secciones 7.1.2.1 a 7.1.2.2 de la NCh Elec. 4/2003)

7.1.2.1.- Los alimentadores se deberán proteger tanto a la sobrecarga como al cortocircuito, con las protecciones adecuadas a cada situación.

7.1.2.2.- Los alimentadores se protegerán a la sobrecarga de acuerdo a la potencia utilizada, estando limitada la protección máxima por la capacidad de transporte de corriente de los conductores.

Corresponde seleccionar primero el interruptor termomagnético, y luego determinar un conductor cuya capacidad exceda a lo menos un 10 % la capacidad de la protección.

La protección adecuada para este circuito es de 20 A.

Dimensionamiento de conductores (secciones 7.1.1.2 a 7.1.1.3 de la NCh Elec. 4/2003)

7.1.1.2.- La sección de los conductores de los alimentadores y subalimentadores será, por lo menos, la suficiente para servir las cargas determinadas de acuerdo a 7.2. En todo caso la sección mínima permisible será de 2,5 mm².

7.1.1.3.- La sección de los conductores de los alimentadores o subalimentadores será tal que la caída de tensión provocada

por la corriente máxima que circula por ellos determinada de acuerdo a 7.2.1.1, no exceda del 3% de la tensión nominal de la alimentación, siempre que la caída de tensión total en el punto más desfavorable de la instalación no exceda del 5% de dicha tensión.

Estos valores son válidos para alimentadores de alumbrado, fuerza, calefacción o combinación de estos consumos.

Conductor a seleccionar:

Monoconductor THWN, 75°C, 600 V
Sección de conductor escogida preliminarmente:
3,31 mm² (12 AWG)
Capacidad de transporte del conductor: 25 A

Caída de tensión

Para calcular la caída de tensión en el conductor se aplica la siguiente fórmula:

$$V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (R \cos\phi + X \sin\phi)$$

Donde,

- V** = caída de tensión en V
- I** = corriente nominal del circuito en A
- L** = longitud del conductor en km
- R** = resistencia ohmica del conductor en Ohm/km
- X** = reactancia inductiva del conductor en Ohm/km
- φ** = ángulo de desfase entre tensión y corriente.

Para este caso particular se tienen los siguientes datos:

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	φ
17	0,03	5,315	0	0

$$V = 4,7 \text{ V}$$

$$V\% = \frac{V}{V_{\text{nominal}}} \times 100\% = \frac{4,7}{380} \times 100\% = 1,23\%$$

El conductor seleccionado cumple con lo especificado en 7.1.1.3.

Alumbrado y enchufes área de proceso

Protecciones: (secciones 7.1.2.1 a 7.1.2.2 de la NCh Elec. 4/2003)

Aplicando la Tabla 7.5,

$$10.000 \text{ W al } 100\% = 10.000 \text{ W}$$

Por lo tanto la corriente nominal es,

$$I = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 15,2 \text{ A}$$

Para una corriente nominal de 15,2 A en el alimentador se selecciona un interruptor termomagnético de 20 A.

Dimensionamiento de conductores (secciones 7.1.1.2 a 7.1.1.3 de la NCh Elec.4/2003)

Conductor a seleccionar:

Monoconductor THWN, 75°C, 600 V

Sección de conductor escogida preliminarmente:
3,31 mm²

Para este caso particular se obtienen los siguientes datos

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	φ
15,2	0,08	5,315	0	0

$$V = 11,2 \text{ V}$$

$$V\% = 2,94\%$$

El conductor seleccionado cumple con lo especificado en 7.1.1.3.

Carga total alumbrado y enchufes (Según tabla 7.5 de la NCh Elec. 4/2003)

Alumbrado y enchufes oficina y bodegas

$$4 \text{ kW} + 4 \text{ kW} + 3 \text{ kW} = 11 \text{ kW}$$

$$11 \text{ kW al } 100\% \quad 11.000 \text{ W}$$

Alumbrado y enchufes proceso

$$5 \text{ kW} + 5 \text{ kW} = 10 \text{ kW}$$

$$10 \text{ kW al } 100\% \quad 10.000 \text{ W}$$

**TOTAL ALUMBRADO
Y ENCHUFES**

21.000 W

MADECO

60 años

Presente en el Desarrollo de Chile

Fuimos los primeros en fabricar Conductores Eléctricos en Chile y hemos crecido conjuntamente con los grandes proyectos del país.

Hoy poseemos la mejor tecnología en la fabricación de Cables Eléctricos y nuestros Sistemas de Gestión de Calidad han sido aprobados bajo Norma ISO 9001, certificada por Lloyd's Register Quality Assurance, lo que nos ha llevado a ser Líder en el Mercado Nacional y en el Cono Sur del Continente Americano.

Fabricamos:

Alambre y Cables desnudos de Cobre y Aluminio.

Alambres para uso domiciliario normales: NYA

Cables de poder hasta 115 KV.

Cables de Control e Instrumentación

Cables de uso Minero.

Cables Submarinos.

Alambres Esmaltados.

Cordones Grúas redondos y planos.

Cordones para servicio liviano y pesado.

Cables Coaxiales.

Cables Flexibles Multiflex.

Barras Tomatierra.

Madeco es una empresa Nacional con presencia Internacional: Decker-Indelquí (Argentina), Indeco (Perú) Ficap (Brasil)



MADECO

Ureta Cox 930, San Miguel, Santiago, Chile
Fono (56-2) 5201406 Fax (56-2) 5201111
e-mail: ventas@madeco.cl

www.madeco.cl

Cálculo del transformador de alumbrado y enchufes.

Como se consideran cargas básicamente resistivas, hacemos la aproximación de un (1) kW por un (1) kVA

Potencia del transformador:

Considerando una potencia en el secundario de 21 kVA y una eficiencia del 90%

$$P = \frac{21\text{kVA}}{0,9} = 23,$$

De acuerdo con lo anteriormente calculado, el transformador a seleccionar será de 30 kVA conforme a las potencias suministradas por el fabricante.

Corriente nominal del secundario:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{30\text{kVA}}{\sqrt{3} \cdot 380}$$

Corriente nominal del primario:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{30\text{kVA}}{\sqrt{3} \cdot 4160}$$

CENTRO DE CONTROL DE MOTORES CCM

Motor 1. (Régimen permanente)

Dimensionamiento de conductores (secciones 12.2.1 a 12.2.3 de la NCh Elec. 4/2003)

12.2.1.- *La sección mínima de conductor empleado para alimentar motores fijos será de 1,5 mm².*

12.2.2.- *La sección de los conductores que alimenten a un motor de régimen permanente será tal que asegure una capacidad de transporte, por lo menos, igual a 1,25 veces la corriente de plena carga del motor.*

12.2.3.- *La sección de los conductores que alimenten a un motor, sea éste de régimen periódico, intermitente o de breve duración, será tal que asegure una capacidad de transporte como mínimo igual a la corriente de plena carga afectada por un factor determinado de acuerdo a la tabla N° 12.28.*

**TABLA N° 12.28
FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE ALIMENTACION
A MOTORES DE REGIMEN NO PERMANENTE**

tipo de régimen	tipo de funcionamiento			
	5 minutos	15 minutos	30 – 60 minutos	Más de 60 minutos
Breve duración (operación de válvulas o descenso de rodillos y otros similares)	1,1	1,2	1,5	
Intermitentes (ascensores, montacargas, máquinas herramientas, bombas, puentes levadizos, tornamesas, etc.)	0,85	0,85	0,9	1,4
Periódicos (rodillos, laminadores, etc.)	0,85	0,9	0,95	1,4
Variables	1,1	1,2	1,5	2

Nota: En la norma NCh Eléc. 4/84 esta tabla corresponde a la número 12.26

(*) Los tiempos de funcionamiento indicados son los períodos en los cuales los motores, por su diseño, alcanzan la temperatura nominal de trabajo y pueden operar; cumplido este período necesitan un intervalo de refrigeración.

V = 4160 V
P = 100 HP
In = 13 A
In x 1,25 = 16,25 A

Conductor a seleccionar:

Monoconductor XAT ,90 °C, 5 kV, NA 133%

Sección de conductor adecuada: 13,3 mm²
(6 AWG).

El fabricante no suministra conductores de inferior calibre a ese nivel de tensión. Para este caso particular se obtienen los siguientes datos

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	φ
16,25	0,02	1,323	0,170	32°

V = 0,7V
V % = 0,02%

El conductor seleccionado cumple con lo especificado en 7.1.1.3.

Protección contra sobrecargas (sección 12.3.1.2 de la NCh Elec. 4/2003)

12.3.1.2.- *Todo motor de régimen permanente cuya potencia sea superior a 1 HP deberá protegerse, contra las sobrecargas, mediante un dispositivo de protección que responda a la corriente del motor. Este protector tendrá una capacidad nominal o estará regulado a no más de 1,25 veces la corriente nominal del motor si se trata de motores con factor de servicio no inferior a 1,15 ó, a no más de 1,15 veces la corriente nominal del motor para todo otro caso.*

N.A.- *El factor de servicio es un coeficiente usado en los motores fabricados de acuerdo a Normas Norteamericanas y*

señala la sobrecarga permanente que el motor tolera. Usualmente se lo identifica en placa por las letras F.S. o S.F.

También los motores fabricados bajo normas europeas dan estos coeficientes

Por lo tanto,

$$I_{sc} = I_n \times 1,25 = 16,25 \text{ A}$$

Protección de cortocircuito (secciones 12.3.2.1 a 12.3.2.2)

12.3.2.1.- *Todo motor deberá contar con una protección de cortocircuito. Esta protección se dimensionará de modo tal que sea capaz de soportar sin operar, la corriente de partida del motor.*

12.3.2.2.- *La capacidad nominal de las protecciones de cortocircuito de un motor se dimensionará comparando la característica de la corriente de partida y el correspondiente valor durante el período de aceleración del motor o máquina, si es que el motor parte acoplado a su carga, con la curva de respuesta de la protección seleccionada de modo que ésta no opere bajo condiciones normales de partida.*

A pesar de que se fijan los parámetros a tener en cuenta para la selección del dispositivo de protección de cortocircuito, no se entregan datos concretos para el cálculo y el tipo de protección a implementar. Para tal efecto se introduce aquí un aparte del NEC (Nacional Electrical Code) donde se establecen metodologías para el cálculo y selección de la protección.

430-52. Corriente máxima o de programación de los circuitos individuales de motores.

(a) General. *El dispositivo de protección contra cortocircuitos y fallas a tierra del circuito ramal debe cumplir los siguientes apartados (b) y (c) o (d), según proceda.*

(b) Todos los motores. *El dispositivo de protección del motor contra cortocircuitos y fallas a tierra del circuito ramal, debe ser capaz de transportar la corriente de partida del motor.*

(c) Corriente nominal o de disparo.

(I) Se debe emplear un dispositivo protector con una corriente nominal o un valor de disparo que no supere el valor calculado de acuerdo con lo establecido en la Tabla 430-152.

Excepción N°. 1: Cuando los valores de los dispositivos de protección de los circuitos ramales contra cortocircuitos y fallas a tierra, calculados según la Tabla 430-152, no correspondan con los valores normalizados de los fusibles, interruptores automáticos no ajustables, protectores térmicos o interruptores automático ajustables, se permite utilizar el valor inmediatamente superior.

Excepción N°. 2: Cuando los valores especificados por la Tabla 430-152 modificado por la excepción No. 1, no es suficiente para la corriente de partida del motor:

a. Se permite aumentar el valor nominal de un fusible sin retardo de tiempo que no exceda los 600 A o un fusible con retardo de tiempo del tipo Clase CC, pero que en ningún caso exceda el 400% de la corriente a plena carga.

b. Se permite aumentar el valor nominal de un fusible con retardo (de dos elementos), pero que en ningún caso exceda el 225% de la corriente a plena carga.

c. Se permite aumentar el valor nominal de un interruptor automático de tiempo inverso, pero que en ningún caso pueda superar (1) el 400% de la corriente a plena carga para corrientes de 100 A o menos o (2) el 300% de la corriente a plena carga para más de 100 A.

d. Se permite aumentar el valor nominal de un fusible de 601-6.000 A, pero que en ningún caso pueda superar el 300% de la corriente a plena carga.

TABLA N° 430.152 CORRIENTE MAXIMA O AJUSTE DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS Y FALLAS A TIERRA DE LOS CIRCUITOS RAMALES DE MOTORES				
tipo de motor	porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo **	Fusible con retardo ** (de dos componentes)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tipo inverso*
Monofásico	300	175	800	250
Polifásico de c.a. sin rotor bobinado				
De jaula de ardilla:				
Todos menos los de Tipo E	300	175	800	250
Los de Tipo E	300	175	1.100	250
Síncronos #	300	175	800	250
Con rotor bobinado	150	150	800	150
De c.a. (tensión constante)	150	150	250	150

* Los valores de la última columna también cubren las corrientes de los interruptores automáticos no ajustables de tiempo inverso, los cuales pueden modificarse según el Artículo 430-52.

** Los valores de esta columna son para fusibles de Clase CC con retardo.

Los motores síncronos de bajo par y baja velocidad (normalmente 450 rpm o menos), tales como los utilizados con compresores recíprocos, bombas, etc. que arrancan sin carga, no requieren que la corriente de los fusibles o interruptores automáticos sea mayor del 200% de la corriente a plena carga.

Se desea utilizar como dispositivo de protección un interruptor automático, con una intensidad nominal de disparo de ocho veces la corriente nominal en régimen permanente del motor, por lo tanto:

$$I_n (\text{protección}) = I_n \text{ motor} \times 8 = 104 \text{ A}$$

Nota: la corriente de cortocircuito es aquella que se produce, en este caso, en bornes del motor o en algún punto del circuito, cuando hay contacto entre fases o entre una fase y tierra, pudiendo ésta alcanzar valores mucho mayores de los 104 A establecidos anteriormente dependiendo de la impedancia que exista hasta el punto de contacto. Es esta corriente la que se debe limitar mediante la operación de este dispositivo de protección y ella se establece en este caso como de 8 veces la corriente nominal del motor, pero en rigor no es la corriente de cortocircuito, sino que es el valor nominal de corriente que corresponde a la “protección de cortocircuito”.

El valor normalizado inmediatamente superior para esta protección es 110 A.

MOTOR 2. (Régimen permanente)

Dimensionamiento de conductores (secciones 12.2.1 a 12.2.3)

$$\begin{aligned} P &= 75 \text{ HP} \\ I_n &= 10 \text{ A} \\ I_n \times 1,25 &= 12,5 \text{ A} \end{aligned}$$

Conductor a seleccionar:

Monoconductor XAT, 90 °C, 5 kV, NA 133%

Sección de conductor adecuada: 13,3 mm²
(6 AWG).

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	Φ
12,5	0,05	1,323	0,170	32°

$$\begin{aligned} V &= 1,3 \text{ V} \\ V \% &= 0,03\% \end{aligned}$$

Protección contra sobrecargas (sección 12.3.1.2)

$$I_{sc} = I_n \times 1,25 = 12,5 \text{ A}$$

Protección de cortocircuito (secciones 12.3.2.1 a 12.3.2.2)

Se desea utilizar como dispositivo de protección un interruptor automático, por lo tanto la corriente de cortocircuito se calcula como,

$$I_n (\text{protección}) = I_n \times 8 = 10 \times 8 = 80 \text{ A}$$

El valor normalizado para esta protección es 80A

MOTOR 3. (Régimen Intermitente, período de funcionamiento de 30 a 60 minutos)

Dimensionamiento de conductores (secciones 12.2.1 a 12.2.3)

$$\begin{aligned} V &= 4160 \text{ V} \\ P &= 200 \text{ HP} \\ I_n &= 26 \text{ A} \\ I_n \times 0,9 &= 17,4 \text{ A} \end{aligned}$$

Conductor a seleccionar:

Monoconductor XAT, 90 °C, 5 kV, NA 133%

Sección de conductor adecuada: 13,3 mm²
(6 AWG)

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	Φ
17,4	0,075	1,323	0,170	32°

$$\begin{aligned} V &= 2,7 \text{ V} \\ V \% &= 0,07\% \end{aligned}$$

Protección contra sobrecargas (sección 12.3.1.8)

12.3.1.8.- *Los motores usados en condiciones de régimen de breve duración, intermitente o periódico, se considerarán protegidos contra la sobrecarga por las protecciones de cortocircuito y de falla a tierra, siempre que estas cumplan lo establecido en 12.3.2. Se considerará*

como régimen permanente a todo motor, salvo que por las condiciones de uso o de proceso sea imposible que pueda trabajar en forma permanente.

N.A.- *El dispositivo usual de protección contra sobrecargas es el protector térmico.*

Durante el período de funcionamiento normal, se considera que el motor está en régimen permanente, por lo tanto:

$$I_{sc} = I_n \times 1,25 = 32,5 \text{ A}$$

Protección de cortocircuito (secciones 12.3.2.1 a 12.3.2.2)

Se desea utilizar como dispositivo de protección un interruptor automático, por lo tanto la corriente nominal de esta protección de cortocircuito se calcula como,

$$I_n (\text{protección}) = I_n \times 8 = 26 \times 8 = 208 \text{ A}$$

El valor normalizado inmediatamente superior para esta protección es 225 A

Comentario adicional: lo anterior es válido cuando se trata de protecciones de valores fijos, pero se pueden utilizar protecciones ajustables dentro de cierto rango, luego, podría obtenerse el valor de 208 A dependiendo del dispositivo que se use (marca y características)

MOTOR 4. (Régimen permanente)

$$P = 300 \text{ HP}$$

$$I_n = 38 \text{ A}$$

$$I_n \times 1,25 = 47,5 \text{ A}$$

Conductor a seleccionar:

Monoconductor XAT, 90 °C, 5 kV, NA 133%

Sección de conductor adecuada: 13,3 mm²
(6 AWG)

I	L	R	X	φ
[A]	[km]	[Ohm/km]	[Ohm/km]	
47,5	0,08	1,323	0,170	32°

$$V = 8 \text{ V}$$

$$V \% = 0.19 \%$$

Protección contra sobrecargas (sección 12.3.1.8)

$$I_{sc} = I_n \times 1,25 = 47,5 \text{ A}$$

Protección de cortocircuito (secciones 12.3.2.1 a 12.3.2.2)

Se desea utilizar como dispositivo de protección un interruptor automático, por lo tanto la corriente de cortocircuito se calcula como,

$$I_n (\text{protección}) = I_n \times 8 = 38 \times 8 = 304 \text{ A}$$

El valor normalizado inmediatamente superior para esta protección es 350 A

Alimentador del CCM

Dimensionamiento de conductores (sección 12.2.6)

12.2.6.- *En grupos de motores en que existan motores de régimen permanente, periódico, intermitente y/o de breve duración, la sección de los conductores que alimentan al grupo deberá permitir una capacidad de transporte para una corriente que se determina como sigue:*

- *La suma de las corrientes de plena carga de los motores de régimen permanente, más...*
- *La suma de las corrientes de plena carga de los motores de régimen no permanente, afectada por el factor que corresponda, determinado de acuerdo a la tabla N° 12.28, más...*
- *0,25 veces la corriente de plena carga del motor de mayor potencia afectada por el factor correspondiente de acuerdo a la tabla N° 12.26 si el motor no es de régimen permanente.*

Por lo tanto,

$$I = 13 + 10 + 26 \times 0.9 + 38 + 38 \times 0.25 = 93,9 \text{ A}$$

Conductor a seleccionar:

Monoconductor XAT ,90 °C, 5 kV, NA 133%

Sección de conductor adecuada: 26,7 mm²
(3 AWG).

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	ϕ
93,9	0,08	0,659	0,152	32°

$$V = 8,3 \text{ V}$$

$$V \% = 0.20 \%$$

HORNO

Dimensionamiento de conductores (sección 13.1.1.4 de la NCh Elec. 4/2003)

13.1.1.4.- Los conductores de alimentación de circuitos de calefacción se dimensionarán de modo de asegurar una capacidad de transporte de corriente no inferior a 1,25 veces la corriente de carga del circuito. En todo caso, la sección mínima será de 2,5 mm².

$$V = 4.160 \text{ V}$$

$$I_n = \frac{50 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 4160} = 14 \text{ A}$$

$$I_n \times 1,25 = 17,5 \text{ A}$$

Conductor a seleccionar:

Monoconductor XAT, 90 °C, 5 kV, NA 133%

Sección de conductor adecuada: 13,3 mm²
(6 AWG)

I [A]	L [km]	R [Ohm/km]	X [Ohm/km]	ϕ
17,5	0,105	1,323	0,170	32°

$$V = 4 \text{ V}$$

$$V \% = 0,1 \%$$

Protección contra sobrecargas (sección 13.1.1.6)

13.1.1.6.- Las protecciones de los circuitos de calefacción deberán dimensionarse de modo de asegurar que los conductores de alimentación del circuito queden protegidos contra sobrecargas y cortocircuitos.

Se tomará como corriente de sobrecarga el 125 % de la corriente nominal del circuito y la misma para la cual está especificado el conductor. Por lo tanto,

$$I_{sc} = I_n \times 1,25 = 17,5 \text{ A}$$

ALIMENTADOR GENERAL

Dimensionamiento de conductores (sección 12.2.9).

12.2.9.- La sección de alimentadores y subalimentadores que den energía a instalaciones de fuerza o combinación de fuerza y otros consumos se determinará de acuerdo a lo establecido en la sección N° 7.

De acuerdo a 7.2.1.1(a),

7.2.1.1.- La carga nominal de un alimentador, según la cual se dimensionará, no será menor que la suma de las cargas de todos los circuitos que sirve el alimentador, determinadas de acuerdo a las secciones 11 y siguientes, y sujetas a las siguientes disposiciones:

a) Para alimentadores que sirven cargas permanentes o una combinación de cargas permanentes y cargas intermitentes, el alimentador y sus protecciones se dimensionarán de acuerdo a la suma de las cargas intermitentes, afectadas por el factor de diversidad correspondiente más la carga permanente afectada por el factor de demanda correspondiente.

Para el cálculo de los alimentadores de alumbrado y enchufes, del centro de control de motores y del horno, estos ya fueron afectados por los factores de diversidad y demanda correspondientes por lo tanto la corriente del alimentador principal a 4160 V que conduce corriente para las cargas anteriormente mencionadas es:

$$I_n = 4,16 + 93,9 + 14 = 112 \text{ A}$$

Del otro lado del transformador, es decir a 24 kV, la corriente del alimentador sería: 112 x V2/V1 = 19 A.



bhpbilliton
Cerro Colorado



G e n t e c r e a n d o v a l o r

Iquique: San Martín 255, oficina 46,
fono (56-57) 417553.
Santiago: Av. Américo Vespucio 100,
Piso 10, Las Condes, fono (56-2) 330 5000.
Faena: fono (56-57) 404000.

APLICACIONES Y ANÁLISIS DE CASOS

CASO N° 2. Alimentación en 24 kV de un área comercial.

Alimentación de energía eléctrica a una gran área comercial con dos transformadores de 800 kVA, $Z=5\%$ y con centro de seccionamiento separado del centro de transformación. Tensión 23 kV.

- Potencia de cortocircuito del lado de AT = 350 MVA. (Empresa distribuidora)
- Temperatura de cables enterrados en el suelo 40°C
- Canalización subterránea del conductor de media tensión.
- La canalización corre bajo una zona de tráfico pesado.
- Longitud del conductor que une el centro de seccionamiento con el de transformación = 100 m.

DESCRIPCION DE LA INSTALACION

Centro de seccionamiento y medida:

Estará ubicado en una edificación independiente a las afueras del edificio. Se construirá de material incombustible y cumplirá los requerimientos fijados en la sección 5.8.5 de la NCh Eléc 5/2001.

5.8.5. Subestaciones en recintos aislados de otras construcciones.

5.8.5.1. *En caso de que la subestación se instale en una construcción aislada de otras y que esté dedicada exclusivamente a servir como recinto de la subestación, esta construcción deberá hacerse con material incombustible pero no será necesario cumplir todas las exigencias del párrafo 5.8.3 respecto a la calidad de los materiales y disposiciones constructivas, siempre que una falla producida en la subestación no provoque riesgos a personas ni al medio ambiente que la rodea.*

Se disponen de celdas destinadas a los siguientes usos:

- Celda de entrada de línea.
- Celda de protección general.
- Celda de medida.
- Celda de salida. Destinada para salida de línea a transformadores.

CENTRO DE TRANSFORMACION

Los detalles constructivos para la ubicación de los transformadores deben ser acorde a las secciones 5.8.3.1 a 5.8.3.7. de la NCh Elec 5/2001.

5.8.3. Subestaciones dentro de edificios

5.8.3.1. *Los transformadores y el equipo anexo se instalarán de manera de permitir su retiro en caso de ser necesario y que sean fácilmente accesibles al personal que los opere o mantenga, de modo que sea posible abandonar el recinto sin obstáculos aun en caso de peligro.*

5.8.3.2. *Los recintos de operación de estas subestaciones deberán contar con dos puertas, una de acceso de materiales y equipos y la otra de servicio. Para cumplir esta exigencia se construirán puertas de dos hojas o bien la puerta de servicio puede estar inscrita en la de acceso de materiales. En caso de instalarse transformadores y equipos de dimensiones reducidas, que quepan libremente por la puerta de servicio, se podrá omitir la puerta de acceso de materiales.*

5.8.3.3. *Las puertas y las protecciones o controles de las aberturas de ventilación deberán ser de material incombustible, al igual que los recubrimientos de muros, pisos y cielos. Se prohíbe el uso de baldosines plásticos en subestaciones con transformadores en aceite.*

5.8.3.4. *La puerta de servicio debe tener por lo menos 0,80 x 2,10 m, deberá abrir hacia el exterior y estar premunidas de cerraduras de seguridad que permitan abrir desde adentro aun sin necesidad de llaves; la puerta de acceso de los materiales deberá tener dimensiones suficientes como para permitir el cambio de los transformadores y de los equipos anexos de la subestación.*

5.8.3.5. Las puertas deberán permanecer cerradas en todo momento y sólo podrán ser abiertas por personal calificado; sobre ellas deberá pintarse un letrero con la señalización correspondiente de acuerdo a las normas respectivas.

5.8.3.6. Los transformadores refrigerados por aceite se colocarán sobre fosos colectores con capacidad suficiente como para contener el aceite del transformador de mayor potencia más el 30% del contenido de aceite de los demás. Si se construye un foso por cada transformador, cada uno de ellos deberá tener la capacidad correspondiente al volumen de aceite del respectivo transformador. Si no hay espacio suficiente para construir el o los fosos colectores, se construirán ductos de salida que conduzcan el aceite hacia el exterior.

5.8.3.7. En caso de no ser posible la construcción de los fosos considerados en 5.8.3.6 el umbral de la puerta deberá tener una altura sobre el nivel del piso de modo tal que impida la salida al exterior del aceite del transformador de mayor potencia, en caso de rotura del estanque de éste o de una falla similar. En todo caso la altura mínima debe ser de 0,10 m. La evacuación del aceite se deberá hacer de modo de evitar la contaminación del ambiente o de napas subterráneas de agua. Se prohíbe su evacuación a través de sistema de alcantarillado.

Dispondrá de:

- Centro de entrada de línea.
- Celdas de protección de los transformadores.
- Celdas de transformadores.

Memoria de cálculo:

Corriente nominal del primario (dos transformadores),

$$\begin{aligned} P &= 1600 \text{ kVA} \\ V &= 23 \text{ kV} \\ \eta &= 95\% \end{aligned}$$

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta} = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 0.95} = 45 \text{ A}$$

Corriente nominal del primario (un transformador),

$$\begin{aligned} P &= 800 \text{ kVA} \\ V &= 23 \text{ kV} \\ \eta &= 95\% \end{aligned}$$

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta} = \frac{800 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 0.95} = 21 \text{ A}$$

Corriente nominal del secundario,

$$\begin{aligned} P &= 800 \text{ kVA} \\ V &= 0.38 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{800 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 10^3} = 1215 \text{ A}$$

Cálculo de las protecciones de las celdas, secciones 9.2.0.2 a 9.2.0.15 de la NCh Elec 5/2001.

9.2.0.2. Todo transformador integrante de una subestación de patio deberá tener un interruptor o desconectador adecuado, que permita separarlo de su alimentador primario.

9.2.0.3. Cada transformador que integre una subestación de patio deberá estar protegido en su lado primario por una protección individual. Si se usan fusibles como protección su capacidad nominal no deberá exceder de 1,5 veces la corriente nominal del transformador y si se usan interruptores automáticos, éstos deberán tener una capacidad nominal o estar regulados a no más de 3 veces dicho valor.

9.2.0.4. La protección prescrita en 9.2.0.3 se podrá omitir cuando la protección del alimentador primario cumpla la exigencia hecha a la protección individual en cuanto a su capacidad o regulación y la longitud de éste no sea superior a 200 m.

9.2.0.5. Cuando el valor de 1,5 veces la corriente nominal del transformador no corresponde a una capacidad comercial del fusible se podrá instalar la capacidad superior más próxima.

9.2.0.6. Se podrá omitir la protección individual de un transformador siempre que la protección del alimentador primario tenga una capacidad nomi-

nal o esté regulado a valores que no excedan los indicados en la tabla N° 9.27 y el secundario del transformador tenga un dispositivo de protección de capacidad nominal o que esté regulado a valores superiores a los indicados en la citada tabla.

9.2.0.7. Se podrá omitir la protección individual del primario de un transformador en el caso de que éste cuente con una protección térmica de sobrecarga coordinada por el fabricante.

9.2.0.8. Se exigirá la protección de la subestación mediante interruptores automáticos o reconectores en aquellos casos en que las corrientes de cortocircuitos en el secundario excedan de 30 KA.

9.2.0.9. Cuando se conecten transformadores en paralelo se deberán disponer enclavamientos que eviten la realimentación a través del secundario, cuando cualquiera de los transformadores se desconecte de la alimentación primaria.

9.2.0.10. En subestaciones en el interior de edificios no se podrá usar como protecciones desconectores fusible del tipo intemperie.

9.2.0.11. Queda estrictamente prohibida la alteración de las características de operación o regulación de las protecciones así como el empleo de fusibles reparados o capacidades superiores a las correspondientes.

9.2.0.12. De acuerdo a lo determinado por las condiciones de operación y uso de una subestación para instalaciones de consumo se podrá proyectar un esquema de protecciones primaria operado mediante relevadores que aseguren un grado de protección a lo menos equivalente al obtenido mediante las protecciones exigidas en los párrafos anteriores.

9.2.0.13. Las protecciones de una subestación interior deberán estar coordinadas con las protecciones del empalme de la Empresa Eléctrica, de modo que actúen en forma selectiva; con este fin se deberá efectuar el estudio de coordinación respectivo, de acuerdo a los datos que deberá proporcionar la Empresa Eléctrica.

9.2.0.14. Todos los equipos de control, protección y operación que correspondan a una instalación de media o alta tensión alimentados en baja tensión, a través de transformadores de potencial, deberán constituir un conjunto separado a fin de permitir una operación y mantenimiento fácil y seguro, sin necesidad de interrumpir la alimentación primaria de la subestación.

9.2.0.15. Los tableros de baja tensión que se instalen en una subestación deberán cumplir las exigencias constructivas y condiciones de montaje establecidas en la sección 6 de la norma NCh Elec 4/2001.

TABLA N° 9.27 DE NCh Elec. 5/2001

Impedancia del Transformador	protección primaria		secundario		
	Automático	Fusible	Operando a más de 600 V		Operando a 600 V ó menos
0/1	x In	x In	Automático x In	Fusible x In	Automático o Fusible x In
No más de 0,06	6	3	3	1,5	2,5
Entre 0,06 y 0,10	4	2	2,5	1,25	2,5

Descripción de las celdas:

CELDA DE ENTRADA

Seccionador tripolar de 25 kV, 300 A, con mando manual.

CELDA DE PROTECCION GENERAL

- Seccionador tripolar con mando manual
- Disyuntor de corte en SF₆ de 300 A, (tabla 9.27), 25 kV y poder de corte de 500 MVA a 23 kV
- Barra tripolar aislada
- Barra de puesta a tierra
- Mando manual
- Bobina de disparo a 24 V c.c
- Contactos auxiliares
- Armario de protecciones indirectas para: Sobrecorriente Cortocircuitos de fases y homopolar

CELDA DE MEDIDA

Tres transformadores de potencial de relación de transformación:

$$\frac{23000 \sqrt{3}}{110 / \sqrt{3}}$$

24 kV, 50 VA, clase 0.5

- Tres transformadores de corriente de relación 50/5 A, 25 kV, clase 0.5 y 15 VA.
- Barra tripolar aislada.
- Barra de puesta a tierra.

CELDA DE SALIDA

Idéntica a la celda de entrada

CELDA DE ENTRADA AL CENTRO DE TRANSFORMACION

- Interruptor tripolar con mando manual.
- Seccionador tripolar de puesta a tierra con cierre brusco para 25 kV.
- Barras, pletina y cable de cobre para la puesta a tierra de la instalación

CELDAS DE PROTECCION DE LOS TRANSFORMADORES

- Seccionador con mando manual.
- Seccionador de puesta a tierra.
- Fusibles 25 kV/63 A (Tabla 9.27).
- Bobina de disparo de 220 V.
- Barra tripolar aislada.
- Barra de puesta tierra.

CELDAS DE TRANSFORMADORES

Transformador trifásico, refrigerado en aceite, para servicio continuo de las siguientes características:

- P=800 kVA
- Tensión nominal primaria en vacío: 23000 +/- 2.5% +/- 5% V
- Tensión nominal secundaria en vacío: 380/220 V
- Grupo de conexión: Dy11
- Nivel de aislamiento: 1,2/50 ms (125 kV) y a 50 Hz durante un minuto (50kV)
- Elementos de protección: termómetro y relé Buchholz

EQUIPO DE MEDIDA

Un contador de energía activa simple, trifásico, 4 hilos, para conexión a transformadores de potencial y corriente clase 1.

**TABLA N 8.25 DE LA NCh Elec. 4/2003
CAPACIDADES DE TRANSPORTE DE CORRIENTE
PARA CABLES MONOCONDUCTORES EN MT**

Sección [mm ²]	tensión de servicio [V]								
	2.001 a 5.000				5.001 a 15.000	15.001 a 35.000			
	Condiciones de Instalación								
	A	B	C	D	A	A(*)	B	C	D
8,37	83	55	64	110	-	-	-	-	-
13,3	110	75	85	140	110	-	83	90	130
21,2	145	97	110	180	150	-	110	115	170
33,6	190	130	145	230	195	-	150	155	210
42,4	225	155	170	260	225	225	170	175	240
53,5	260	180	195	295	260	260	195	200	275
67,4	300	205	220	335	300	300	225	230	310
85	345	240	250	385	345	345	260	260	355
107	400	280	290	435	400	395	295	295	405
126,7	445	315	320	470	445	440	330	325	440
152	495								
177,3	550	385	385	570	550	545	395	390	535
202,7	615								
253,4	695	475	470	690	685	680	480	465	650
380,2	900	600	585	845	885	870	585	565	805
506,8	1075	690	670	980	1060	1040	675	640	930

Línea de Interconexión (sección 8.2) de la NCh Elec. 4/2003

corresponderán a tramo de tensiones de servicio 15001 a 35000 V.

8.2.- Disposiciones Aplicaciones a Líneas Subterráneas de Distribución

B.- *Tres cables monoconductores en un ducto separado de otros, al aire; temperatura ambiente 40°C, temperatura de servicio del conductor 90°C.*

CONDICIONES DE INSTALACION

A.- *Cable monoconductor al aire; temperatura ambiente 40°C, temperatura de servicio del conductor 90°C.*

C.- *Tres cables monoconductores en un ducto subterráneo; temperatura ambiente 20°C, temperatura de servicio del conductor 90°C.; factor de carga 1,0, resistencia térmica $Q=90$*

() Esta es la única condición de servicio en que se separan los conductores según 3 tensiones de servicio por esta razón los valores de capacidad de transporte de esta columna*

D.- *Cable monoconductor enterrado directo en tierra; temperatura ambiente 20°C, temperatura de servicio del conductor 90°C; factor de carga 1,0, resistencia térmica $Q=90$*



Líderes en
tecnología,
calidad
y seguridad

Somos la Primera Compañía de
Conductores Eléctricos en recibir
Certificación ISO 9001:2000



1.- Las capacidades de transporte de corriente a temperaturas ambientes distintas de las consideradas en las tablas 8.26 y 8.27 pueden determinarse a partir de la siguiente expresión:

$$I_2 = I_1 \sqrt{\frac{\theta_c - \theta_{a2} - \Delta I}{\theta_c - \theta_{a1} - \Delta I}}$$

En donde:

- I_1 = Capacidad de transporte de corriente obtenida de las tablas
- I_2 = Capacidad de transporte de corriente a la temperatura θ_{a2}
- θ_{a1} = Temperatura ambiente indicada en tabla.
- θ_{a2} = Temperatura ambiente de cálculo en grados C.
- θ_c = Temperatura del conductor en grados C.
- ΔI = Pérdidas dieléctricas por variación de temperatura.

2.- Las capacidades de transporte indicadas en las tablas N° 8.25 y N° 8.26 se han fijado considerando que las pantallas metálicas de los cables están puestas a tierra en un solo extremo, si estas pantallas se aterrizan en más de un punto estas capacidades de transporte deberán corregirse tomando en cuenta el aporte de calor producido por la corriente que circulará en este caso por la pantalla.

Se utilizarán 3 cables monoconductores tipo ET de 42,4 mm², 25 kV, NA 100% canalizados en ductos de PVC. El fabricante sólo ofrece conductores de secciones mayores o iguales a 53,5 mm² motivo por el cual se ha seleccionado este conductor.

Cálculos:

Corriente máxima admisible para el conductor de Media Tensión ET de 42,4 mm², 25 kV

Según lo especificado en la sección 8.2, apartado 1

- I_1 = Capacidad de transporte de corriente obtenida de las tablas = 175 A
- I_2 = Capacidad de transporte de corriente a la temperatura θ_{a2}
- θ_{a1} = Temperatura ambiente indicada en tabla = 20 °C

θ_{a2} = Temperatura ambiente de cálculo en grados C = 40

θ_c = Temperatura del conductor en grados C = 90

ΔI = Pérdidas dieléctricas por variación de temperatura = 0

$$I_2 = I_1 \sqrt{\frac{\theta_c - \theta_{a2} - \Delta I}{\theta_c - \theta_{a1} - \Delta I}} = \frac{175 \sqrt{\frac{90 - 40 - 0}{90 - 20 - 0}}}{\sqrt{\frac{90 - 40 - 0}{90 - 20 - 0}}} = 175 \cdot 0,845 = 148 \text{ A}$$

$$I_2 = 148 \text{ A}$$

Caída de tensión del conductor que une el centro de seccionamiento con el de transformación:

Para el conductor de media tensión ET de 42,4 mm², 25 kV

Aplicando la fórmula

$$V = \sqrt{3} I L (R \cos \phi + X \sin \phi)$$

- V = caída de tensión en V
- I = corriente en A = 45 A
- L = longitud en km = 0.1
- R = resistencia del conductor en Ω/km = 0,415
- X = reactancia del conductor en Ω/km = 0,173

$$\cos \phi = 0.8$$

Por lo tanto

$V = 3,4 \text{ V}$ lo cual significa un 0,01% de la tensión nominal (23 kV), por lo tanto la caída de tensión es inferior al 5 %.

Corriente de cortocircuito

Para la potencia de cortocircuito de 350 MVA, tenemos:

$$I_{cc} = \frac{350.000}{\sqrt{3} \cdot 23.000}$$

Suponiendo que la línea se protege desde su inicio con un interruptor automático con tiempo de despeje del cortocircuito inferior a 0,3 s se tiene que para un conductor de cobre de 42,4 mm², la I_{cc} admisible se obtiene de:

$$I \cdot \sqrt{t} = K \cdot S$$

- I** = Corriente de cortocircuito en A
t = Duración de la corriente en segundos
K = Constante cuyo valor normal es de 142 para el cobre
S = Sección del conductor en mm²

Por lo tanto para verificar que el conductor seleccionado es el apropiado se calculará la sección mínima para un cortocircuito de estas características.

$$S = \frac{I \cdot \sqrt{t}}{K} = \frac{8,78 \cdot 10^4 \cdot \sqrt{0,2}}{142} = 33,87 \text{ mm}^2$$

El conductor ET de sección 42,4 mm², 25 kV cumple con los requerimientos para la instalación.

Tubería

Según sección 8.2.11 y Tablas 8.16 a 8.19 de la NCh Elec. 4/2003

8.2.11.- Cantidad máxima de conductores en tuberías

8.2.11.1.- La cantidad máxima de los diferentes tipos de conductores en los distintos tipos de tuberías se fijará de acuerdo a lo prescrito en las tablas N° 8.16 a N° 8.19.

8.2.11.2.- Para fijar la cantidad máxima de conductores en una tubería se aceptará que el conductor o haz de conductores, incluyendo la aislación de cada uno de ellos, ocupe un porcentaje de la sección transversal de la tubería que esté de acuerdo a lo prescrito por la tabla N° 8.16.

8.2.11.3.- La cantidad de conductores, determinada de acuerdo a la tabla N° 8.16 y sus condiciones de aplicación, se verificará comparando el diámetro interno de la tubería considerada con el diámetro de la envolvente teórica del haz de conductores respectivo. La diferencia entre

ellos no deberá ser inferior a 3 mm para los valores de las tablas N° 8.17, N° 8.17a, N° 8.18 y N° 8.18a y de 12 m, para la tabla N° 8.19.

8.2.11.4.- Los valores de las tablas N° 8.17, N° 8.17a, N° 8.18 y N° 8.18a serán válidos para tramos de tuberías de hasta 20 m de largo, rectos o con no más de dos curvas con una desviación total no superior a 180°: Para tramos de distancias superiores o para desviaciones mayores a las indicadas se deberá colocar cajas de paso intermedias.

8.2.11.5.- En tuberías que lleven más de tres conductores se deberán aplicar los factores de corrección de capacidad de transporte de corriente indicados en la tabla N° 8.8.

Aplicando la Tabla 8.16 en mención,

TABLA N° 8.16 PORCENTAJE DE SECCION TRANSVERSAL DE LA TUBERIA OCUPADA POR LOS CONDUCTORES			
Número de conductores	1	2	3 ó más
Porcentaje ocupado	50	31	35

Condiciones de aplicación de la tabla N° 8.16:

- Cuando se trata de tuberías de unión de gabinetes de tableros o similares, de una longitud no superior a 1 m se podrá considerar un porcentaje de área de hasta el 60 %.
- Cuando en el cálculo de la cantidad de conductores de un determinado tipo de tubería se obtengan valores decimales, sólo se aproximará al entero superior si el decimal es de 0,8 o mayor.
- Para combinación de conductores de diferentes secciones nominales se respetarán los valores indicados en la tabla N° 8.16, usando las dimensiones de conductores y tuberías indicadas en las tablas N° 8.10 y N° 8.18, respectivamente.
- Cuando el conductor de tierra forme parte del haz de conductores deberá incluirse en el cálculo.

El conductor seleccionado tipo ET, 25 kV, 42,4 mm² tiene un diámetro exterior de 29,69 mm. La sección de cada conductor es 692,33 mm², por lo tanto la sección de tres conductores equivale a un área de 2.077 mm²

Aplicando la Tabla 8.19 de la NCh Eléc 4/2003

TABLA N° 8.19 DIMENSIONES Y PORCENTAJES DE SECCION TRANSVERSAL PARA LOS DISTINTOS TIPOS DE DUCTOS							
Diámetro Nominal			Diámetro Interno	Sección Transversal	50% Sección Transversal	31% Sección Transversal	35% Sección Transversal
Tipo de Ducto							
t.p.p.	t.a.						
t.p.r.	t.a.g.	t.a.					
c.a.g.	t.p.f.		[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]
	++ 1/2"		11,70	107,51	53,76	33,33	37,63
+ 1/2"			12,00	113,10	56,55	35,06	39,59
+ 16 mm			13,40	141,03	70,52	43,72	49,32
	5/8"		13,88	151,31	75,65	46,91	52,96
+ 1/2"			15,76	195,08	97,54	60,47	68,28
	3/4"		17,08	228,32	114,16	70,78	79,91
3/4"			20,96	345,94	172,52	106,96	120,70
	1"		23,00	415,48	207,74	128,80	145,42
1"			26,64	557,39	278,70	172,79	195,09
	1 1/4"		29,35	976,56	338,28	209,73	236,80
1 1/4"			35,08	1000,90	483,52	299,62	338,28
	1 1/2"		35,70	1316,40	500,45	310,30	350,34
1 1/2"			40,94	1839,85	658,20	408,08	460,74
	2"		48,40				643,95
		50 mm	50,00				687,23
2"			52,48				757,09
2 1/2"			62,68				1079,98
		75 mm	75,00				1546,22
3"			77,92				1669,00
3 1/2"			90,10				2231,56
+ 4"			97,80				2618,54
+110 mm			99,40				2716,01
		100 mm	100,00				2748,90
+ 4"			102,26				2874,55

+ Estos seis valores corresponden a tubería de polietileno, tubería de PVC y tubo de acero galvanizado de pared gruesa, respectivamente. Los restantes valores corresponden a tubo de acero galvanizado pared gruesa, no existiendo diferencias notorias entre los distintos tipos.

++ Corresponde a tubo plástico flexible, las otras medidas de este tipo de tubería se consideran equivalentes a las del tubo de acero.

Importante: Los valores que aparecen en esta tabla corresponden a las dimensiones más usuales de las tuberías que se ofrecen en el mercado y son solo referenciales y no deben entenderse como valores de norma para la fabricación de tuberías.

Las abreviaturas utilizadas tienen los significados siguientes:

tp	tubo de polietileno
tag	tubo de acero galvanizado
tpf	tubo plástico flexible
ta	tubo de acero barnizado
tp	tubo de PVC
cag	cañería de acero galvanizado

Como solo se puede hacer uso del 35% de la sección interior de la tubería, el ducto seleccionado para la canalización es de PVC rígido y un diámetro mínimo de $3\frac{1}{2}$ ”

Canalizaciones y cámaras

Según la sección 8.3.3.5. de la norma NCh Elec. 5/2000 se puede aplicar para el diseño de las canalizaciones y las cámaras lo especificado en la norma NCh Elec 4/2001.

8.3.3.5. Tanto la alimentación en media tensión, como la salida a la red de distribución de baja tensión deberán ser canalizadas en forma subterránea, cumpliendo las exigencias establecidas para este tipo de canalizaciones establecidas en esta Norma y la Norma NCh Elec 4/2001, en la medida que sean aplicables.

Según la Norma NCh Elec 4/2003 en las secciones 8.2.16.3 se establecen los parámetros para la instalación y diseño de la canalización subterránea.

8.2.16.3.-Los ductos se colocarán en una zanja de ancho y profundidad suficiente, considerando que deberán ir cubiertos por un mínimo de 0,45 m de tierra de relleno, exigiéndose una profundidad mínima de 0,80 m en zonas de tránsito de vehículos.

El fondo de la excavación deberá emparejarse con una capa de arena y los ductos deberán tener una pendiente mínima de 0,25% hacia las cámaras próximas.

8.2.16.6.-En canalizaciones formadas por varios ductos se usarán separadores ubicados a distancias convenientes para facilitar la colocación de los ductos y mantener su paralelismo. Ver Figura 2.1.

8.2.16.8.-Se aceptará una distancia máxima de recorrido entre cámaras de 90 m, con un máximo de dos curvas y una desviación por cada curva no superior a 60° con respecto a la línea recta y radios de curvatura de 10 veces el diámetro del ducto respectivo como mínimo.

Si existen más de dos curvas o una desviación superior a la señalada se deberá colocar cámaras intermedias.

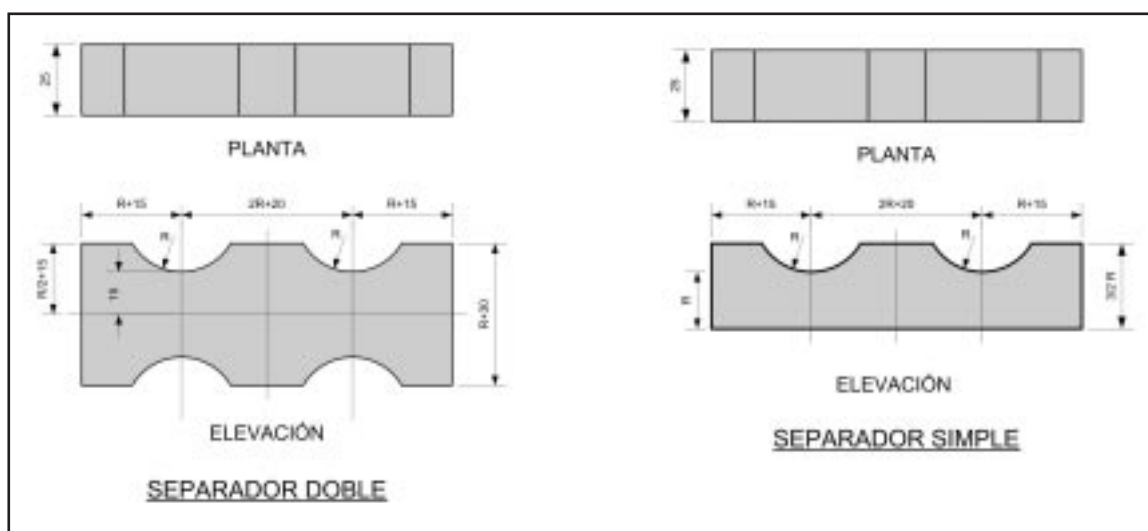


Figura 2.1. -Separadores de ductos en canalización subterráneas.
Análisis de casos: Alimentación de un área comercial

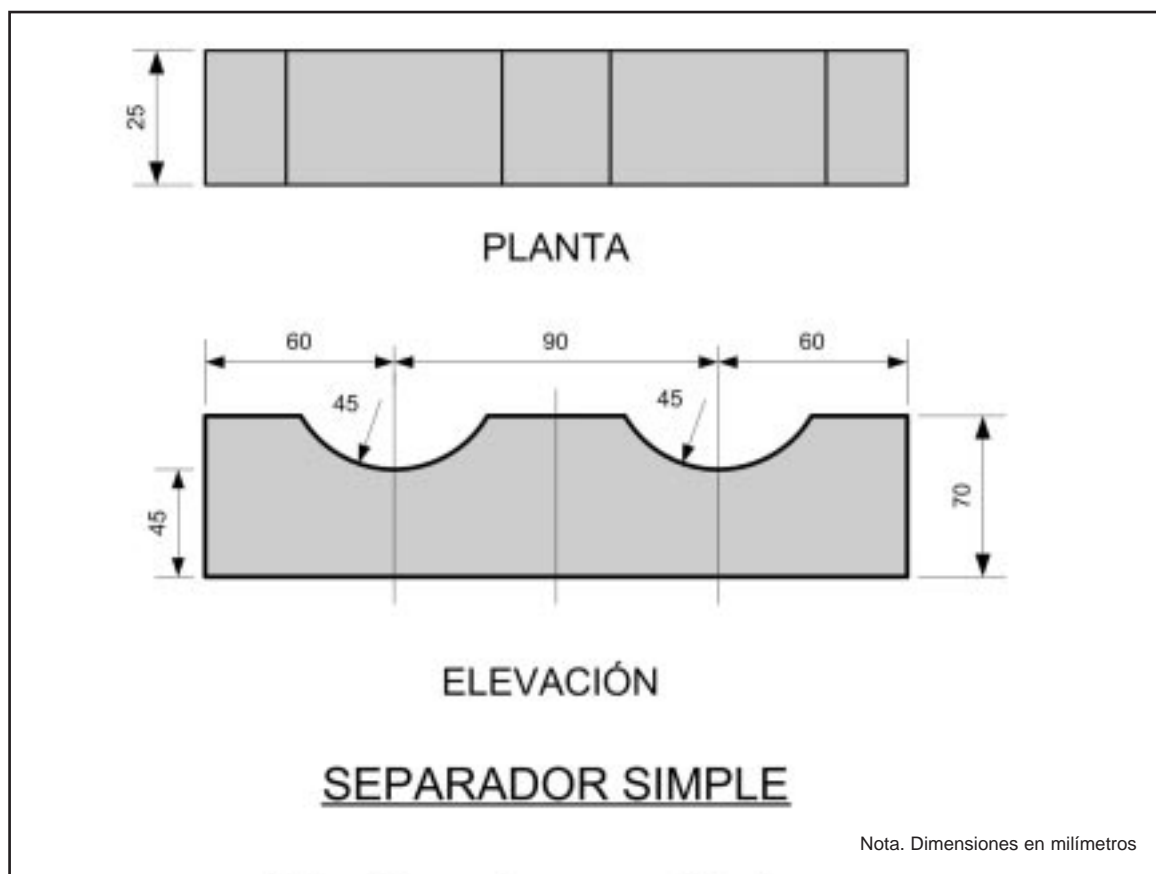


Figura 2.2. - Separador simple apropiado para ductos de 3^{1/2} pulgadas de diámetro.
Análisis de casos: Alimentación de un área comercial.

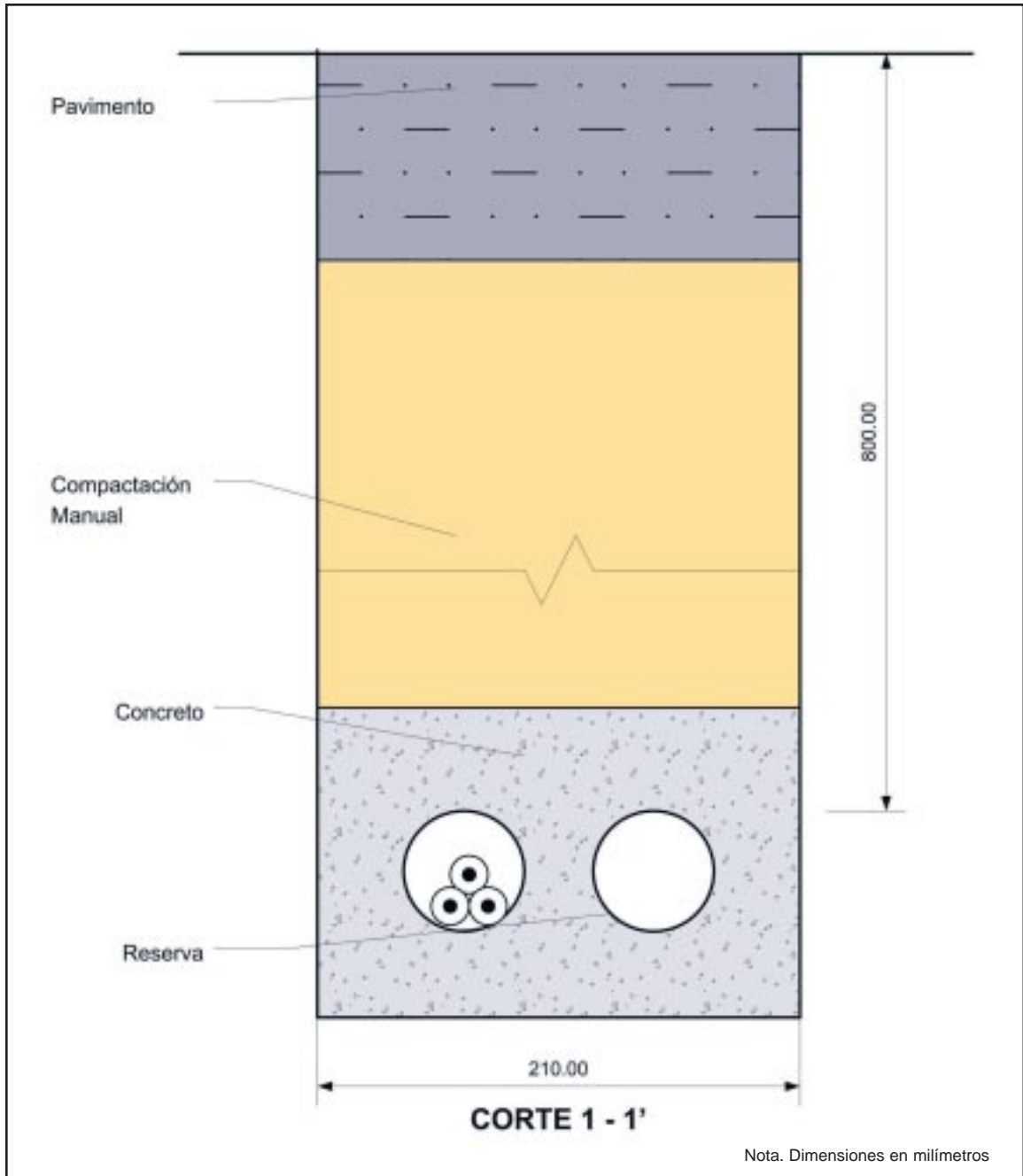


Figura 2.3. - Dibujo en corte de la subterránea de conductores.
Análisis de de casos: Alimentación en 24 kV de un área comercial.

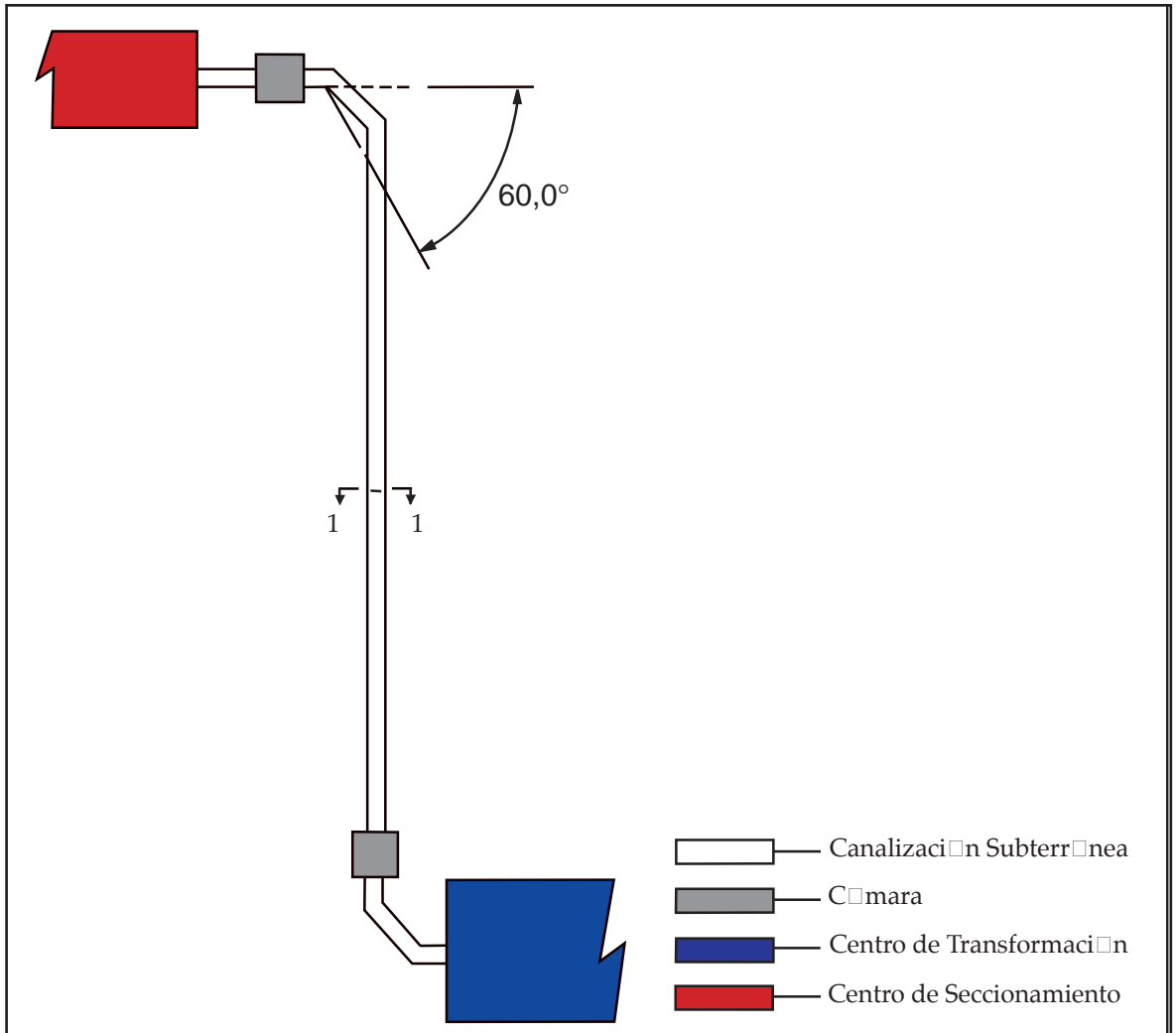


Figura 2.4. - Canalización y cámaras subterráneas entre centro de transformación y centro de seccionamiento.
Análisis de casos: Alimentación en 24 kV de un área comercial.

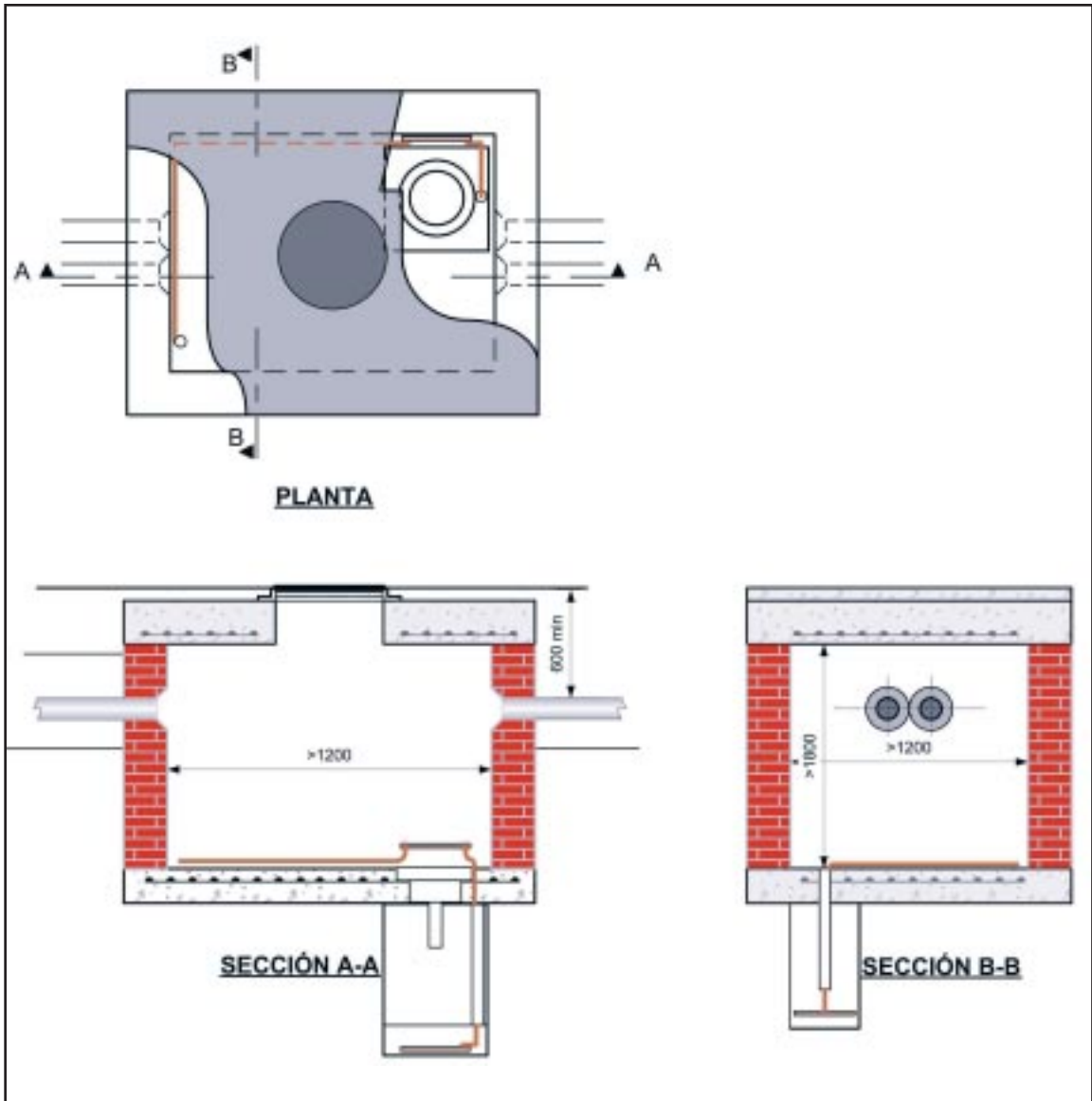


Figura 2.5. - Cámaras empleadas para la canalización subterránea de conductores.
Análisis de casos: Alimentación 24 kV de un área comercial.

8.2.16.9.-En tramos rectos se aceptará, colocar cámaras hasta, una distancia máxima de 120 m entre ellas. El ducto que se utilice en estos casos será de un diámetro mínimo de 50 mm.

Aplicando la normativa anteriormente mencionada y teniendo en cuenta los datos iniciales de la instalación se puede establecer el corte característico para la canalización y la planimetría de la línea de interconexión.

Línea de Interconexión

La línea al poseer dos curvas y por tener una longitud superior a 90 m requiere de una cámara, la cual se ubicará en la mitad del recorrido de la canalización. Pero por experiencia constructiva se sugiere colocar dos cámaras. Una, a la salida del centro de seccionamiento, de preferencia antes de la curva; la segunda, a la llegada al centro de transformación, antes que se inicie la curva. No obstante, las curvas de la canalización pueden obviarse colocando las cámaras en el lugar de dichas curvas; de este modo el cambio de dirección lo ejecuta el cable en el interior de la cámara, la cual debe tener las dimensiones adecuadas para permitir el radio de curvatura del cable dado por el fabricante.

En esta aplicación se instalarán dos cámaras de acuerdo con lo especificado anteriormente, una a la salida del centro de seccionamiento antes de la curva, y la segunda a la llegada del centro de transformación antes que se inicie la curva. Ver Figura 2.4.

Cámaras (sección 8.2.17)

8.2.17.- Cámaras

8.2.17.1.-Las cámaras se usarán para facilitar la colocación, mantenimiento, reparaciones, uniones y derivaciones de los conductores y permitir los empalmes de distintos tipos de ductos. Deberán tener un drenaje que facilite la evacuación rápida

de las aguas que eventualmente lleguen a ellas por filtración o condensación.

8.2.17.2.-En zonas muy lluviosas o en que existan napas freáticas que puedan inundar las cámaras y los ductos, el sistema deberá construirse impermeabilizado. Si esta medida es insuficiente deberá instalarse un sistema mecanizado de evacuación de las aguas o utilizar conductores apropiados para trabajar sumergidos.

8.2.17.3.-Se utilizarán los siguientes tipos de cámaras:

- a) Cámara tipo "A". Serán de dimensiones suficientes como para permitir el fácil acceso a su interior a una persona para efectuar trabajos. Este tipo de cámara se usará preferentemente en sistemas industriales y cuando el tamaño y el número de conductores así lo aconsejen.
- b) Cámaras tipo "B". Serán de dimensiones tales que permitan la fácil manipulación de los conductores, la inspección desde el exterior y, eventualmente penetrar a su interior para trabajos de guía del alambrado, ejecución de mufas de protección de derivaciones o similares. Este tipo de cámara se usará en instalaciones de menor envergadura que las especificadas en 8.2.17.3 a.
- c) Cámaras tipo "C". Sus dimensiones deberán permitir la manipulación de los conductores y la inspección desde el exterior. Se utilizarán como cámaras de paso, cámaras de unión o derivación, en instalaciones residenciales y en instalaciones de semáforos.

La cámara más adecuada para una aplicación en media tensión es una Tipo A, con tapa para tráfico de tipo pesado. Ver Figura 2.5. En cada caso se debe hacer el estudio estructural correspondiente.

También puede usarse una cámara tipo B, ya que son sólo estos cables los que se están canalizando.

Diagrama unifilar

Finalmente se presenta el diagrama unifilar de la instalación concebida

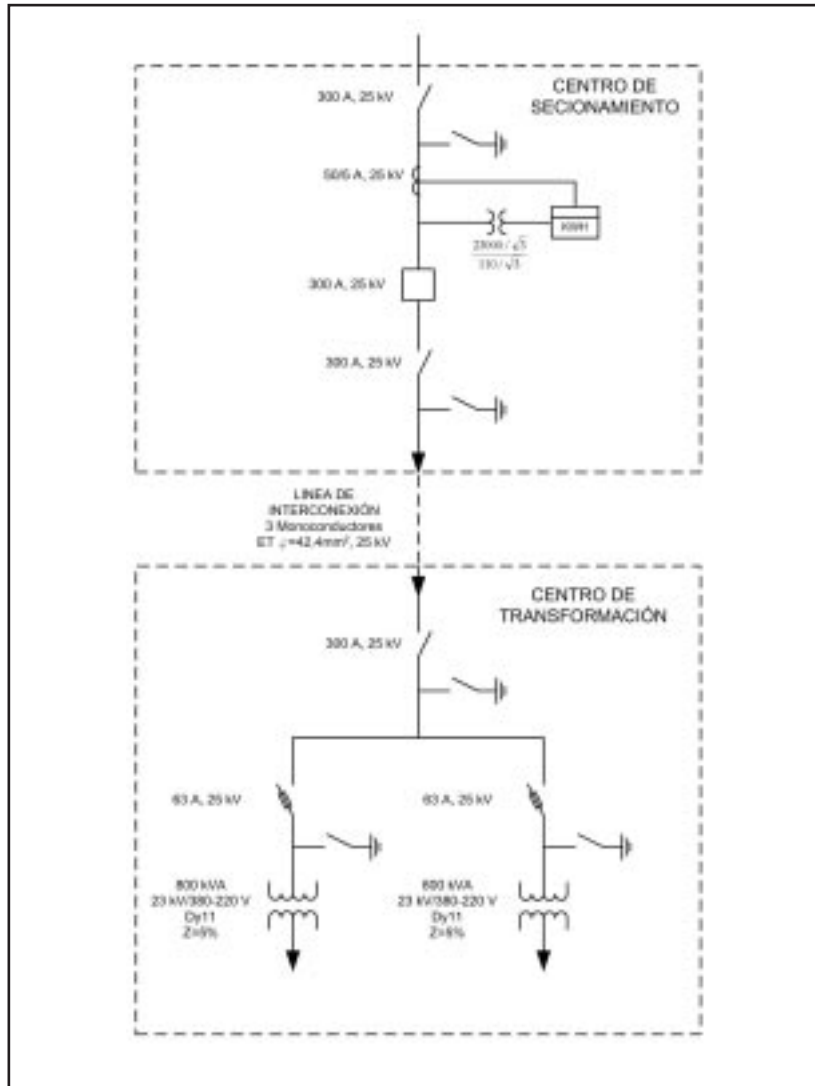


Figura 2.6. - Diagrama unifilar del sistema de la línea subterránea de interconexión y los centros de seccionamiento y transformación.
Análisis de casos: Alimentación de un área comercial.

APLICACIONES Y ANÁLISIS DE CASOS

CASO N° 3. Dimensionamiento económico de cables de alimentación de 10 subestaciones de 13,2 kV.

El procedimiento generalmente utilizado para la selección de la sección del conductor de un cable permite determinar la sección mínima admisible, con lo cual se reduce al mínimo el costo de la inversión inicial en el cable. En dicho procedimiento no se tiene en cuenta el costo de las pérdidas que se producen durante la vida de servicio del cable.

El creciente costo de la energía, junto con las altas pérdidas de energía producidas a consecuencia de las temperaturas de funcionamiento que permiten los nuevos materiales aislantes (por ejemplo 90 °C para el XLPE y el EPR), obliga en la actualidad a considerar la selección de la sección de los cables con unos criterios económicos más amplios. En lugar de minimizar únicamente el costo inicial, se debe minimizar también la suma del costo inicial y del costo de las pérdidas a lo largo de la vida económica del cable. Debido a esta última condición, un cable con sección de conductor mayor que la que se escogería sobre la base del mínimo costo inicial, producirá unas pérdidas de energía menores para la misma corriente y considerado a lo largo de su vida económica, resultará mucho menos caro.

Los costos de las futuras pérdidas económicas que se producirán durante la vida económica del cable se pueden calcular realizando las estimaciones adecuadas del crecimiento de la carga y del costo de la energía. La sección de conductor más económica se consigue cuando se minimiza la suma de los costos futuros de las pérdidas de energía y el costo inicial de compra e instalación.

El ahorro en el costo global, cuando se escoge una sección de conductor mayor que la determinada por las limitaciones térmicas, proviene de la considerable reducción del costo de las pérdidas por efecto Joule comparado con el costo de compra.

Para los valores de los parámetros financieros y eléctricos empleados en este desarrollo, que no son excepcionales, el ahorro en el costo combinado de compra y de explotación es del orden del 50%. Los cálculos para esquemas financieros más cortos pueden presentar un esquema similar.

CALCULO DEL COSTO TOTAL

El costo total de un cable considera su costo de instalación y de explotación durante su vida económica, expresado en valores presentes, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{COSTO TOTAL} = \text{CT} = \text{CI} + \text{CJ} [\$]$$

donde

CI es el costo de la longitud de cable instalado, \$
CJ costo en valor presente de las pérdidas por efecto Joule, \$.

Evaluación de CJ

El costo debido a las pérdidas se compone de dos partes:

- Gastos de energía
- Gastos debidos a la capacidad de suministro adicional requerido para cubrir las pérdidas.

a. Costos debidos a los gastos de energía.

$$= (I_{m \square x}^2 \text{Æ} R \text{Æ} \ell \text{Æ} N_p \text{Æ} N_c) T$$

donde

Imáx es la máxima carga del cable durante el primer año, A.

ℓ es la longitud del cable.

R es la resistencia en c.a. del conductor, Ω/m
Np es el número de conductores de fase por circuito.

Nc es el número de circuitos que transportan una carga del mismo valor y tipo.

T es el tiempo de funcionamiento al máximo de pérdidas por efecto Joule, h/año.

Si se conoce el factor de carga de las pérdidas *m* y se puede suponer que es constante durante la vida económica, entonces:

$$T = 8.760$$

$$= (I_{\text{máx}}^2 \cdot R \cdot \ell \cdot N_p \cdot N_c) T \cdot P \quad [\$]$$

donde

P el costo de un watt-hora de energía al nivel de tensión considerado, \$/Wh

b. Costos debido a la capacidad de suministro adicional

El costo de la capacidad de suministro adicional para compensar estas pérdidas es:

$$= (I_{\text{máx}}^2 \cdot R \cdot \ell \cdot N_p \cdot N_c) D \quad [\$ / \text{año}]$$

donde

D es el costo anual para cubrir estas pérdidas, \$/W año

El costo total de las pérdidas del primer año es por lo tanto:

$$= (I_{\text{máx}}^2 \cdot R \cdot \ell \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D) \quad [\$]$$

Si los costos se pagan al final del año, su valor presente en la fecha de la compra de la instalación es:

$$= \frac{(I_{\text{máx}}^2 \cdot R \cdot \ell \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D)}{(1 + i/100)} \quad [\$]$$

donde

i es la tasa de descuento, sin incluir el efecto de la inflación, %

Análogamente, el valor presente de los costos de energía durante N años de explotación, depreciado a la fecha de compra es:

$$C] = (I_{\text{máx}}^2 \cdot R \cdot \ell \cdot N_p \cdot N_c) \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad [\$]$$

Q es un coeficiente que tiene en cuenta el aumento de carga, el aumento del costo de energía a lo largo de N años y la tasa de descuento

$$Q = \sum_{n=1}^N (r^{n-1}) = \frac{1-r^N}{1-r}$$

$$r = \frac{(1+a/100)^i \cdot (1+b/100)}{(1+i/100)}$$

donde

- a** es el aumento anual de carga, %
- b** es el aumento anual del costo de energía, sin incluir el efecto de la inflación, %

Cuando se requieren varios cálculos que implican distintas secciones de conductor, resulta ventajoso expresar todos los parámetros excepto a la corriente y la resistencia del conductor con un coeficiente F, siendo:

$$F = N_p \cdot N_c \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{(1 + i/100)} \quad [\$ / W]$$

Los costos totales vienen dados por:

$$= (I_{\text{máx}}^2 \cdot R \cdot \ell \cdot N_p \cdot N_c) T \cdot P \quad [\$]$$

DETERMINACION DE LAS SECCIONES ECONOMICAS DEL CONDUCTOR

Primera aproximación: margen de corrientes económicas para cada conductor en una serie de secciones.

Todas las secciones de conductores tienen unos márgenes de corrientes económicas para unas condiciones de instalación dadas. Los límites superior e inferior del margen económico para una sección de conductor están dados por:

Límite inferior de $I_{\max} =$

$$\sqrt{\frac{CI - CI_1}{F \cdot \rho_{20} \cdot \lambda (R_1 - R)}}$$

Límite superior de $I_{\max} =$

$$\sqrt{\frac{CI_2 - CI}{F \cdot \rho_{20} \cdot \lambda (R - R_2)}}$$

donde

- CI** costo de longitud de cable instalado cuya sección de conductor se está considerando, \$.
- R** resistencia del conductor que se está considerando, Ω/m .
- CI₁** costo de longitud de cable con sección normalizada inmediatamente inferior instalado, \$.
- R₁** resistencia en c.a por unidad de longitud de la sección de conductor normalizado inmediatamente inferior, Ω/m .
- CI₂** costo de longitud de cable con sección normalizada inmediatamente inferior instalado, \$.
- R₂** resistencia en c.a por unidad de longitud de la sección de conductor normalizado inmediatamente inferior, Ω/m .

Segunda aproximación: sección económica de conductor para una carga dada.

La sección de conductor económica Sec es la sección que minimiza la función del costo total:

$$CT(s) = CI(s) + I_{m\Box}^2 \cdot \rho_{20} \cdot \lambda \cdot R(s) \cdot L \cdot F$$

donde

$$R(s) = \frac{\rho_{20} \cdot \lambda \cdot B [1 + a_{20} (\theta_m - 20)]}{S} \cdot \left[\frac{\%ob}{l/m} \right]$$

$$B = (1 + y_p + y_s) \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2)$$

- ρ_{20} resistividad en cc del conductor, Ωm
- y_p, y_s factores de efectos superficial y de proximidad
- λ_1, λ_2 factores de pérdidas en las cubiertas metálicas y armaduras
- a_{20} coeficiente de variación de la resistividad del material del conductor en función de la temperatura a 20°C

- θ_m es la temperatura del conductor
- S sección del conductor en mm^2

Se puede ajustar un modelo lineal a los valores de costo inicial para el tipo de cable y de instalación bajo consideración, entonces:

$$CI(s) = 1 (A \times S + C)$$

donde

- A** componente variable del costo, relativa a la sección del conductor, $\$/m \cdot mm^2$
- C** componente constante del costo, $\$/m$
- l longitud del cable, m

La sección óptima Sec (mm^2) puede ser obtenida igualando a cero la derivada respecto a S de la ecuación del costo total, dando:

$$Sec = 1000 \cdot \left[\frac{I_{m\Box}^2 \cdot \rho_{20} \cdot \lambda \cdot B \cdot L \cdot F \cdot [1 + a_{20} \cdot (\theta_m - 20)]^{0.5}}{A} \right] \cdot \left[\frac{\%ob}{l/m} \right]^2$$

EJEMPLO PRACTICO

Hay que dimensionar un circuito de cable a 6,9 kV para alimentar diez subestaciones de 6,9 kV/0,38 kV igualmente espaciadas a lo largo de la ruta desde una subestación 110 kV/6,9 kV. Véase Figura 3.1 . (Sólo hay un circuito trifásico por lo que $N_c = 1$ y $N_p = 3$).

Los valores horarios de corriente I_{max} durante el primer año para cada segmento se muestran en tabla 3.1.

TABLA N° 3.1 VALORES DE CORRIENTE POR SEGMENTO DE RUTA	
Segmento	Corriente [A]
1	160
2	144
3	128
4	112
5	96
6	80
7	64
8	48
9	32

TABLA 3.2. DATOS FINANCIEROS

Vida económica	N	30	años
Tiempo de funcionamiento a pérdidas máximas	T	4380	h/año
Precio de las pérdidas por efecto Joule al final del primer año a 13,2 kV	P	$23,9 \times 10^{-3}$	\$/Wh
Gastos debido a las pérdidas	D	0,96	\$/Wh. año
Para este ejemplo, el coeficiente de dicha parte de los costos de instalación que depende la sección del conductor, se ha calculado que será:	A	226,92	\$/m.mm ²
Aumento anual de la carga	a	0,5	%
Aumento anual del costo de la energía	b	2	%
Tasa anual de descuento	i	10	%

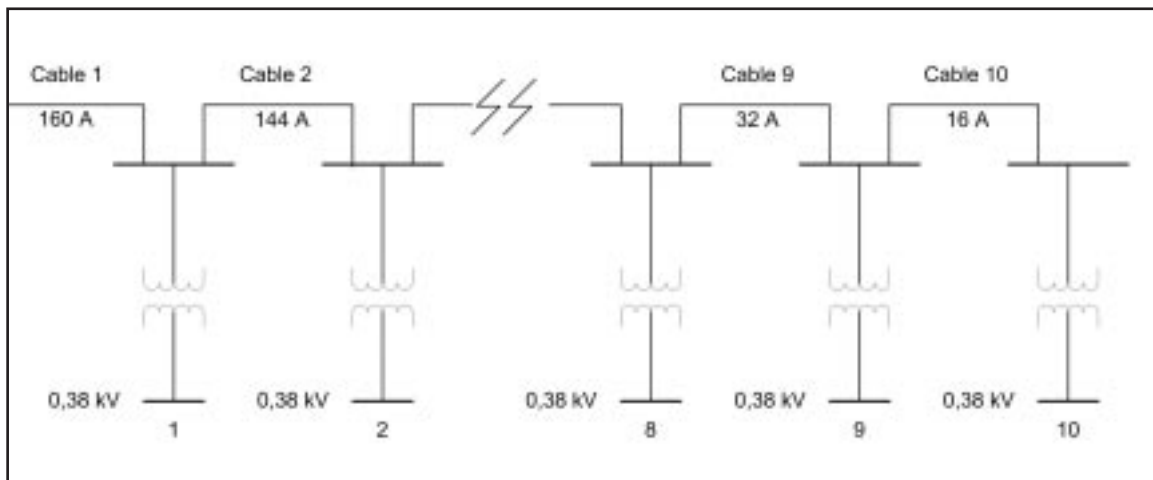


Figura 3.1. - Diagrama del Sistema.
Análisis de casos: Optimización económica de conductores

DATOS DE LOS CABLES

Para los fines de este ejemplo se ha supuesto un cable monopolar de 8 kV. Las resistencias en CA de los conductores a 20°C se dan en la Tabla 3.3, junto con los datos financieros. La capacidad de transporte en régimen permanente, para una temperatura máxima admisible en el conductor de 90 °C, en caso de una instalación en ducto con temperatura del terreno de 20°C está dada en la Tabla 3.3.

TABLA 3.3 DETALLE DEL CABLE						
sección conductor		Corriente Máxima	Resistencia 20° C	costos		
A WG	mm ²			Cable \$/m	Tendido \$/m	Total \$/m
		A	Ω/km			
6	13,3	90	1,335	13.230	7.115	20.345
4	21,2	115	0,847	14.767	7.115	21.882
2	33,6	155	0,544	17.180	7.500	24.680
1	42,4	175	0,440	18.892	7.500	26.392
1/0	53,5	200	0,358	21.052	8.600	29.652
2/0	67,4	230	0,296	23.757	8.600	32.357
3/0	85	260	0,247	27.182	9.175	36.357
4/0	107,2	295	0,209	31.501	12.375	43.876
250	126,7	325	0,188	35.295	13.300	48.595
300	151,3	358	0,169	40.082	13.300	53.382
350	177,3	390	0,156	45.141	13.300	58.441
400	202,7	428	0,147	50.084	13.300	63.384
500	253,2	465	0,134	59.910	13.300	73.210

Cálculo de las cantidades auxiliares

$$r = \frac{[1 + (0,5/100)]^2 \cdot [1 + (2/100)]}{1 + (10/100)}$$

$$Q = \frac{1 - 0,93657^{30}}{1 - 0,93657} = 13,557$$

$$F = \frac{3 \cdot 1 \cdot (4380 \cdot 23,89 \cdot 10^{-6} + 0,96) \cdot 13,58}{1 + (10/100)}$$

CALCULO EMPLEANDO EL METODO DE LOS MARGENES DE CORRIENTES ECONOMICAS

Cálculo del margen de corrientes económicas para una sección de conductor de 85 mm² (3/0 AWG).

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{(18.178.250 - 16.178.446) \cdot 10^3}{3.904,54 \cdot 500 \cdot (0,296 - 0,247)}} = 144 \quad [\text{A}]$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{(21.938.088 - 18.178.250) \cdot 10^3}{3.904,54 \cdot 500 \cdot (0,247 - 0,209)}} = 225 \quad [\text{A}]$$

Los límites superiores de corrientes para un conjunto de secciones de conductores normalizados, cuando se instalan bajo las condiciones supuestas para este ejemplo, se han obtenido de modo similar. Puesto que el límite inferior de corriente para una sección dada es también el límite superior del conductor de sección inmediatamente inferior, los valo-

res calculados se pueden expresar como márgenes de corrientes según se expresa en la Tabla 3.4.

El efecto de un cambio en la sección del conductor sobre los costos totales, cuando el cable transporta una corriente dada, se muestra en la Figura 3.2. Aquí se han conservado el cable y los parámetros financieros de este ejemplo, pero se ha supuesto una carga fija, I_{\max} de 200 A. Se puede ver que, en la región de la sección más económica, la elección de la selección del cable no influye sensiblemente en los costos totales. Sin embargo, la reducción de los costos, comparados con los basados en el empleo de una sección escogida por consideraciones térmicas, es significativa.

TABLA 3.4
MÁRGENES DE CORRIENTES ECONOMICAS
PARA SECCIONES DE CONDUCTORES
DE CABLES DESDE 13,3 MM² (6 AWG)
HASTA 253,2 MM² (500 MCM)

Sección nominal mm ²	Margen de corrientes A	
13,3	-	28
21,2	28	49
33,6	49	65
42,4	65	101
53,5	101	106
67,4	106	144
85	144	225
107,2	225	240
126,7	240	257
151,3	257	310
177,3	310	391
202,7	391	440
253,2	440	-

Selección de una sección de conductor económica para cada segmento.

De los márgenes de corrientes económicas anteriormente tabuladas es posible seleccionar una sección de conductor apropiada para cada uno de los segmentos de ruta del cable, basado en cada valor de I_{\max} durante el primer año. Las secciones de conductores así seleccionadas para cada segmento se dan en la Tablas 3.5 y 3.6 junto con los costos calculados por medio de las ecuaciones anteriormente presentadas. A continuación se ilustra un ejemplo de cálculo de costos.

Para el segmento 1, I_{\max} es de 160 A

La sección de conductor económica seleccionada de la Tabla 3.4 es de 85 mm², y tiene un margen de corrientes económicas de 144 a 225 A.

TABLA 3.5 CARGA ECONOMICA DE CONDUCTORES (Sección Económica)

	Segmento										Totales
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Carga	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	
Imáx [A]											
Cable	85	67,4	67,4	67,4	42,4	42,4	33,6	21,2	21,2	13,3	
Sección (mm ²)											
Capacidad de carga [A]	260	230	230	230	175	175	155	115	115	90	
Costo por segmento y total											
Cable [\$]	13.590.750	11.878.446	11.878.446	11.878.446	9.446.196	9.446.196	8.590.044	7.383.648	7.383.648	6.615.057	98.090.877
Tendido [\$]	4.587.500	4.300.000	4.300.000	4.300.000	3.750.000	3.750.000	3.750.000	3.557.500	3.557.500	3.557.500	39.410.000
CI [\$]	18.178.250	16.178.446	16.178.446	16.178.446	13.196.196	13.196.196	12.340.044	10.941.148	10.941.148	10.172.557	137.500.877
CJ [\$]	12.323.932	11.970.842	9.458.443	7.241.621	7.915.323	5.496.752	4.352.988	3.809.089	1.692.928	667.035	64.928.953
CT [\$]	30.502.182	28.149.288	25.636.889	23.420.067	21.111.519	18.692.948	16.693.032	14.750.237	12.634.076	10.839.592	202.429.830

TABLA 3.6. CARGA ECONOMICA DE CONDUCTORES (Sección Térmica)

	Segmento										Totales	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Carga												
Imáx [A]	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16		
Cable												
Sección (mm ²)	42,4	33,6	33,6	21,2	21,2	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3		
Capacidad de carga	175	155	155	115	115	90	90	90	90	90		
Costo por segmento y total												
Cable [\$]	9.446.196	8.590.044	8.590.044	7.383.648	7.383.648	6.615.057	6.615.057	6.615.057	6.615.057	6.615.057		74.468.865
Tendido [\$]	3.750.000	3.750.000	3.750.000	3.557.500	3.557.500	3.557.500	3.557.500	3.557.500	3.557.500	3.557.500		36.152.500
CI [\$]	13.196.196	12.340.044	12.340.044	10.941.148	10.941.148	10.941.148	10.941.148	10.941.148	10.941.148	10.941.148		114.464.320
CJ [\$]	21.987.008	22.037.000	17.411.951	20.738.373	15.236.355	16.675.881	10.672.564	6.003.317	2.668.141	667.035		134.097.626
CT [\$]	35.183.204	34.377.044	29.751.995	31.679.521	26.177.503	27.617.029	21.613.712	16.944.465	13.609.289	11.608.183		248.561.946

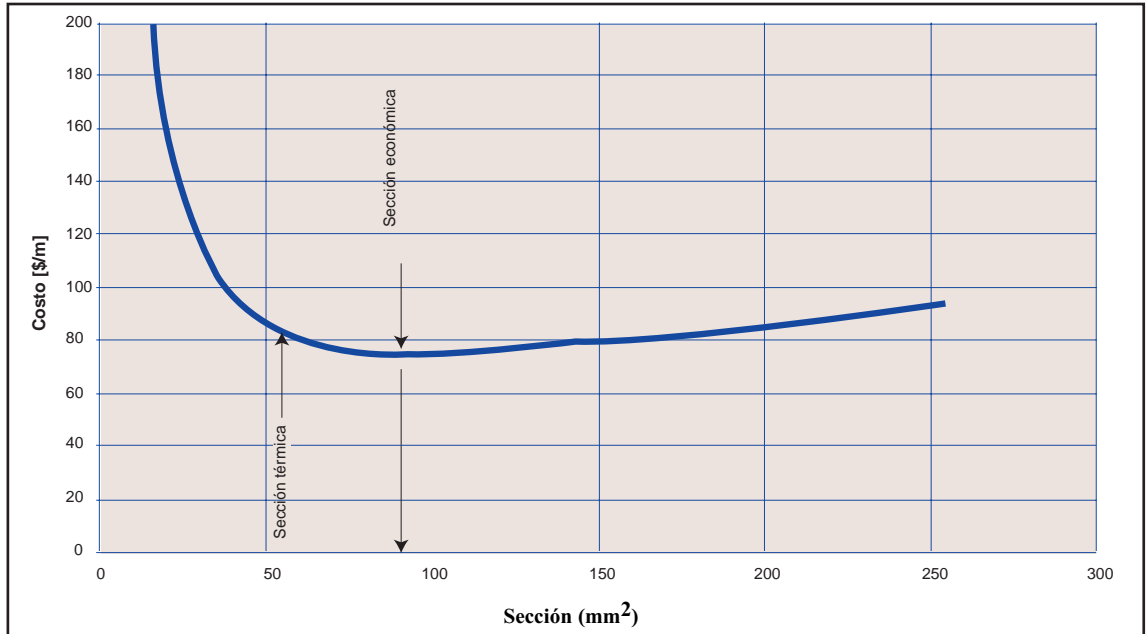


Figura 3.2. - Sección térmica y sección económica de un conductor.
Análisis de casos: Optimización económica de conductores.

$$CT = 36.357 \text{ € } 500 \left[160^2 \text{ € } (0,247/100) \text{ € } 500 \text{ € } 3,954,1 \right]$$

$$CT = 18.178.250 + 12.323.932$$

$$CT = 30.502.182$$

Los costos para cada segmento de ruta se resumen en la Tabla 3.3

Sección de los conductores basado en la máxima carga – Selección realizada con los valores térmicos nominales.

La sección del conductor del cable para cada segmento se escoge para poder transportar la máxima carga prevista para el último año de vida económica sin superar la máxima temperatura admisible del conductor.

Para el segmento 1:

$$\begin{aligned} I_{\text{máx}} (\text{primer año}) &= 160 \text{ A} \\ \text{Máxima corriente} & \\ \text{en el último año} &= 160 \times [1 + (0,5/100)]^{30-1} \\ &= 160 \times 1,1556 \\ &= 185 \text{ A} \end{aligned}$$

La capacidad de transporte de corriente requerida (factor de carga del 100%) para el año final no será inferior a:

$$185/1,11 = 167 \text{ A}$$

donde 1,11 es el factor de máxima corriente cíclica.

Según la Tabla 3.4 la sección del conductor requerida es de 42,4 mm².

El costo del segmento 1 durante el período de 20 años se obtiene de la ecuación:

$$CT = 26.392 \text{ € } 500 \left[160^2 \text{ € } (0,247/100) \text{ € } 500 \text{ € } 3,954,1 \right]$$

$$CT = 13.196.196 + 21.978.008$$

$$CT = 35.138.204$$

La comparación con el costo para el presente segmento cuando se emplea la sección del conductor económica, muestra que el ahorro de costo para este segmento es:

$$(35.138.204 - 30.502.182) \times 100/35.138.204 = 13\%$$

Se han realizado cálculos similares empleando secciones basadas en la máxima capacidad térmica de transporte de corriente para todos los segmentos y se dan en la Tabla 3.4 El ahorro total para los diez segmentos es del 19%.



Cables y Conductores Eléctricos que dan Confianza

Confe en **COVISA** y pruebe nuestra versatilidad operacional, **al momento de requerir pedidos en cantidades especiales y con urgencia extrema.** Recuerde que el potencial de nuestros productos están basados en el desarrollo exhaustivo, excelente terminación, herramientas y accesorios para la instalación de sus cables con una entrega de nuestros productos en tiempo récord y un servicio envidiable.



CASA MATRIZ:

VIÑA DEL MAR: Vte. Agua Santa 4303, Fonos: (32) 611 166 / Fax: (32) 610 260 - covisa@entelchile.net

SANTIAGO: Saizé 2547, Fonos: (2) 689 1257 - 689 5923 / Fax: (2) 689 1552

CONCEPCION: Camilo Henríquez 2334, Fonos: (41) 311 650 / Fax: (41) 322 159

www.covisa.cl