

Instalaciones Industriales

ICAI – Máster en Ingeniería Industrial

Tema 2: Redes Eléctricas en Baja Tensión – Parte 1

María Inmaculada Blázquez
Jesús Chapado
Alberto Jáñez
M^a Teresa Sánchez
Álvaro Ortega Manjavacas

Redes Eléctricas en BT

Índice

- 2.1** Principios generales
- 2.2** Cálculo de líneas en corriente continua
- 2.3** Cálculo de líneas en corriente alterna
- 2.4** Cálculo sección mínima de los conductores
- 2.5** Sistemas de conexión del neutro
- 2.6** Conductores de neutro y de protección
- 2.7** Redes de distribución públicas



Redes Eléctricas en BT

2.1 – Principios Generales

▪ CARACTERÍSTICAS DE UNA INSTALACIÓN

○ Parámetros

- Tensión
- Frecuencia
- N° de fases

○ Receptores

- Como al principio no tendremos todos los datos, debemos hacer estimaciones basadas en la experiencia.

○ Funcionamiento

- Seguro
- Fiable – Mantenimiento y continuidad del servicio

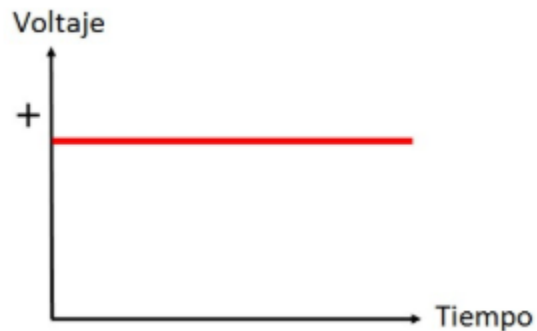
Redes Eléctricas en BT

2.1 – Principios Generales

■ TIPOS DE CORRIENTE

○ Continua (CC/DC)

- Los electrones se mueven siempre en el mismo sentido, del polo (-) al polo (+)
- Las tensiones que proporcionan son constantes en el tiempo, con valores típicamente pequeños (1.5V, 4.5V, 9V)



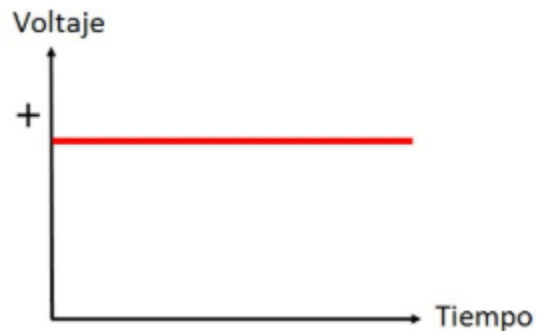
Redes Eléctricas en BT

2.1 – Principios Generales

■ TIPOS DE CORRIENTE

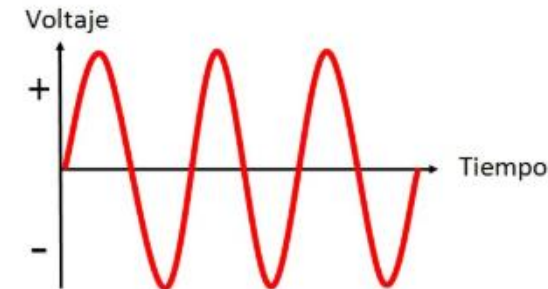
○ Continua (CC/DC)

- Los electrones se mueven siempre en el mismo sentido, del polo (-) al polo (+)
- Las tensiones que proporcionan son constantes en el tiempo, con valores típicamente pequeños (1.5V, 4.5V, 9V)



○ Alterna (CA/AC)

- Los electrones cambian continuamente su sentido de movimiento y su valor de tensión no se mantiene constante en el tiempo
- Es necesario el uso de **alternadores** para generarla
- **Vivienda estándar:** $V = 230V$; $f = 50Hz$



Redes Eléctricas en BT

2.1 – Principios Generales

▪ CAÍDA DE TENSIÓN

- Se define como la **diferencia de potencial** que existe entre los extremos de cualquier conductor
- Se mide en voltios, pero **se expresa en (%)** de la tensión nominal

▪ CALENTAMIENTO

- El calentamiento de los conductores **varía según la intensidad** que atraviesa estos.
- Producido por el **efecto Joule**
- Este calor generado provocará un aumento de la temperatura del conductor y **aumentará la resistencia.**
- **Temperatura máxima** de conductores:
 - PVC: $T_{max} = 70^{\circ}\text{C}$; XLPE o EPR: $T_{max} = 90^{\circ}\text{C}$

Redes Eléctricas en BT

2.1 – Principios Generales

▪ VENTAJAS CA vs. CC:

- El valor de tensión se puede modificar mediante el uso de transformadores
- Permite el transporte de electricidad a grandes distancias sin sobrecalentamientos



Redes Eléctricas en BT

2.2 – Cálculo de Líneas en CC

▪ Ley de Ohm:

- Potencia proporcional a la corriente y a la tensión

$$P = V \cdot I$$

▪ Caída de Tensión

$$\Delta V = \frac{100}{V_N} \cdot 2 \cdot I \cdot R = \frac{100}{V_N} \cdot 2 \cdot I \cdot \left(\rho \cdot \frac{L}{A} \right)$$

▪ Resistividad

RESISTIVIDAD			
	ρ_{20}	ρ_{70}	ρ_{90}
Cu	0,018	0,021	0,023
Al	0,029	0,034	0,037

¡¡VARIA CON LA TEMPERATURA DEL CONDUCTOR!!

V = tensión (V)

V_N = tensión nominal (V)

ΔV = caída de tensión (%)

P = potencia activa que fluye por el conductor (W)

I = corriente a través del conductor (A)

R = resistencia eléctrica del conductor (Ω)

ρ = resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

ℓ = longitud del conductor (m)

A = sección transversal del conductor (mm^2)

Redes Eléctricas en BT

2.2 – Cálculo de Líneas en CC

Ejemplo 1:

- *Tenemos que alimentar con corriente continua unas barreras infrarrojas de seguridad que se encuentran a 100 metros de la fuente de alimentación. Desde la fuente de alimentación partimos con 12V. El consumo de las barreras es de 6 W y hemos previsto que sea alimentado mediante una sección de 1 mm². Acorde a la ficha técnica del producto la alimentación mínima será mínimo 10,5 V.*
- *¿Es necesario aumentar la sección?*
- *¿Qué otra opción de diseño tendríamos?*



Redes Eléctricas en BT

2.2 – Cálculo de Líneas en CC

Solución:

1. Aplicamos la ley de Ohm para el cálculo de la intensidad y obtenemos

$$I = 0.5 \text{ A.}$$

2. Aplicamos la fórmula de la caída de tensión (tomamos valor correspondiente a 20°C)

$$\Delta V = 2 \cdot R \cdot I = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot \frac{L}{S} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,0178 \cdot \frac{100}{1} = 1,72 \text{ V}$$

Por tanto, de los 12 V con los que salimos de la fuente nos llegarán a la barrera 10,28V \Rightarrow Insuficiente para funcionar

3. Aumentamos la sección:

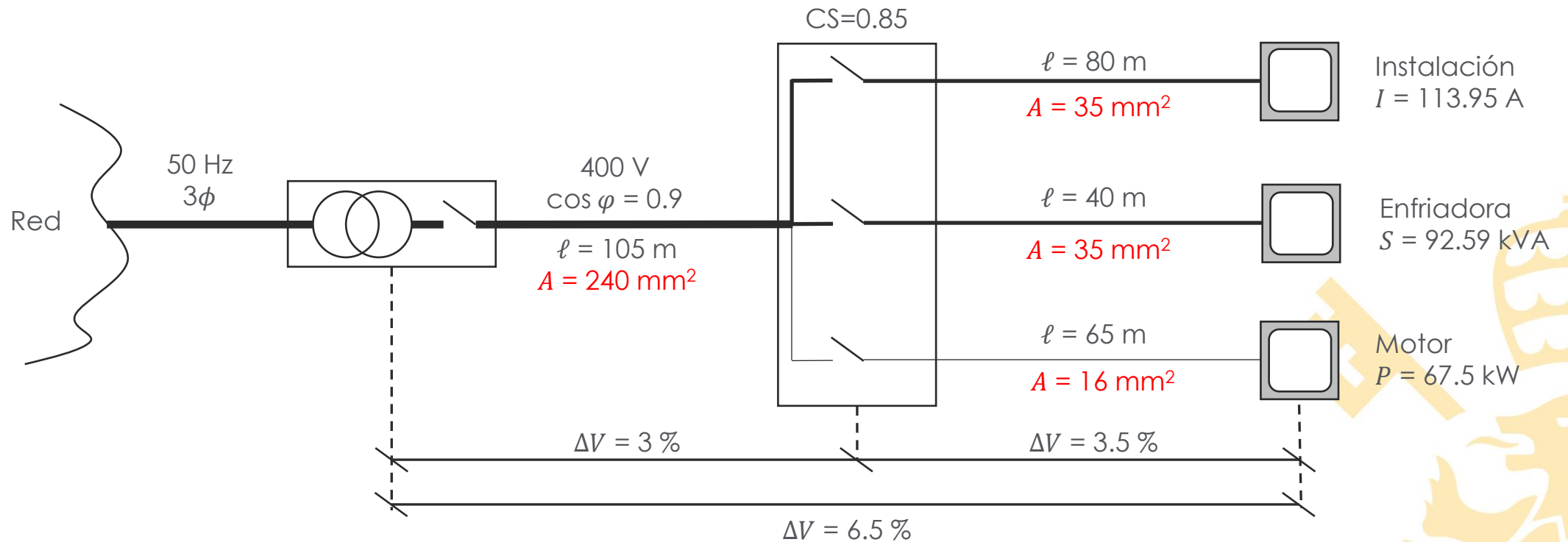
$$\Delta V = 2 \cdot R \cdot I = 2 \cdot I \cdot \rho \cdot \frac{L}{S} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,0172 \cdot \frac{100}{2,5} = 0,69 \text{ V}$$

Por tanto, de los 12 V con los que salimos de la fuente nos llegarán a la barrera 11,31V.

La mejor solución es tratar de acercar lo máximo las fuentes de alimentación a los receptores.

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA

- **OBJETIVO:** determinar la sección mínima normalizada de un conductor que cumple simultáneamente una serie de criterios:
 1. **Térmico** (a.k.a. de Calentamiento, de Capacidad de Carga, de Densidad de Corriente)
 2. **Caída de Tensión**
 3. **Corriente de Cortocircuito**
 4. **Mecánico**
 5. **Económico**
- **Compromiso** entre seguridad (por reglamento) y costes



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA

▪ A Tener en Cuenta:

○ Efecto Pelicular o Skin

- La resistencia efectiva o de corriente alterna es mayor que la resistencia óhmica de corriente continua.
- Variación de la resistencia eléctrica de un conductor debido a la variación de la frecuencia de la corriente eléctrica que circula por éste

○ Efecto de Inducción

- Dificultad al paso de la corriente de un conductor debido a las variaciones del campo magnético → reactancia de autoinducción

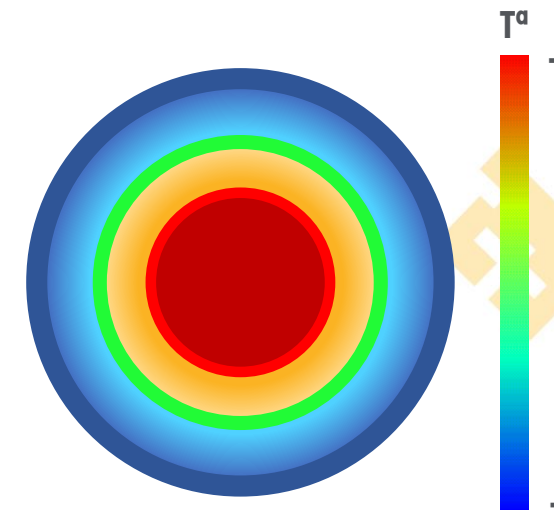
○ Efecto Capacitivo

- Los conductores de una línea, aislados entre sí y aislados de tierra, son desde el punto de vista eléctrico, equivalentes a las armaduras de un condensador y, cuando están a potenciales distintos, toman una carga eléctrica dependiente de los valores de dichos potenciales entre sí y respecto de tierra.

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

- Problema de Transferencia de Energía → **Calor**
- Conductor a 10°C por encima de máxima admisible → reducción de vida útil a la mitad
- Calor debido a:
 - **Pérdidas**
 - Efecto Joule → $P_{loss} \propto I^2 R$
 - Corrientes parásitas en armaduras (cables aislados)
 - **Proximidad a otros conductores**
 - **Radiación Solar**



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

- Ley de Ohm térmica:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\theta}{R_{\theta}}$$

\dot{Q} = energía calorífica total por unidad de tiempo (W)
 θ_i = temperatura del medio (°C)
 $R_{\theta,i}$ = resistencia térmica del medio (°C/W)

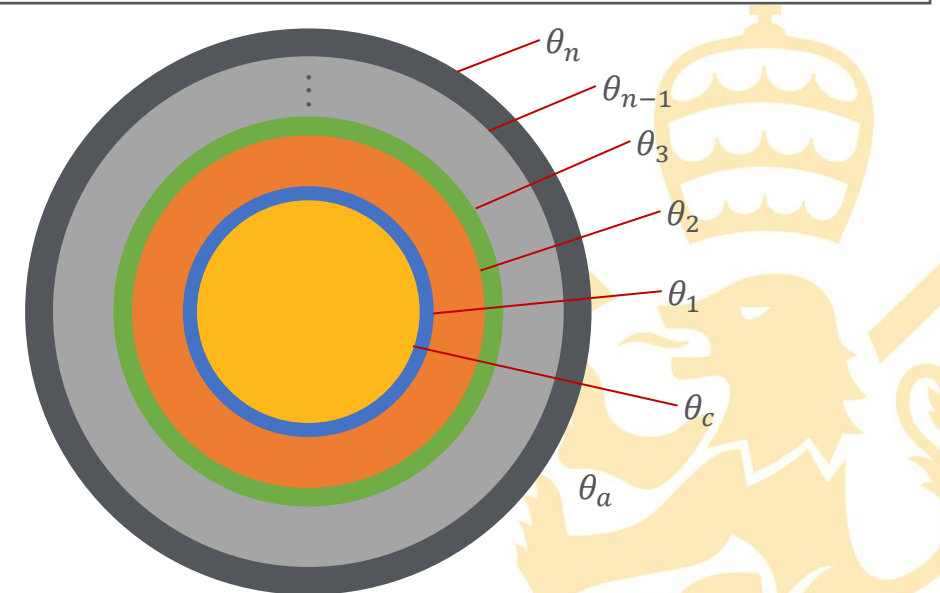
Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

- Ley de Ohm térmica:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\theta}{R_{\theta}} = \frac{\theta_c - \theta_1}{R_{\theta,1}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{\theta,2}} = \dots = \frac{\theta_n - \theta_a}{R_{\theta,a}}$$

\dot{Q} = energía calorífica total por unidad de tiempo (W)
 θ_i = temperatura del medio (°C)
 $R_{\theta,i}$ = resistencia térmica del medio (°C/W)



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

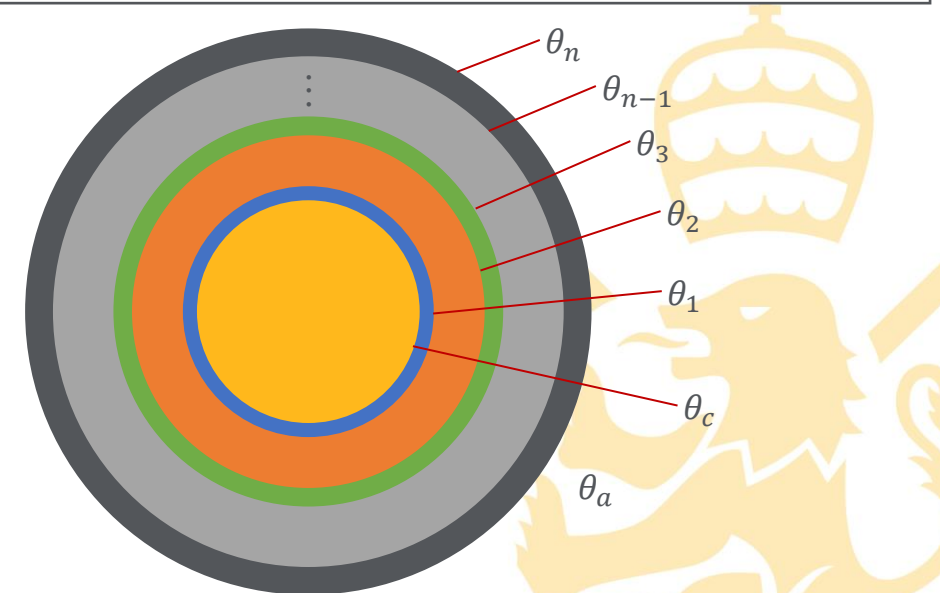
▪ Ley de Ohm térmica:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\theta}{R_\theta} = \frac{\theta_c - \theta_1}{R_{\theta,1}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{\theta,2}} = \dots = \frac{\theta_n - \theta_a}{R_{\theta,a}}$$

↓

$$\Delta\theta = \theta_c - \theta_a = \dot{Q} \left(\sum_{i=1}^n R_{\theta,i} + R_{\theta,a} \right) = \dot{Q} R_\theta^{\text{tot}}$$

\dot{Q} = energía calorífica total por unidad de tiempo (W)
 θ_i = temperatura del medio (°C)
 $R_{\theta,i}$ = resistencia térmica del medio (°C/W)



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

▪ Ley de Ohm térmica:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\theta}{R_\theta} = \frac{\theta_c - \theta_1}{R_{\theta,1}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{\theta,2}} = \dots = \frac{\theta_n - \theta_a}{R_{\theta,a}}$$

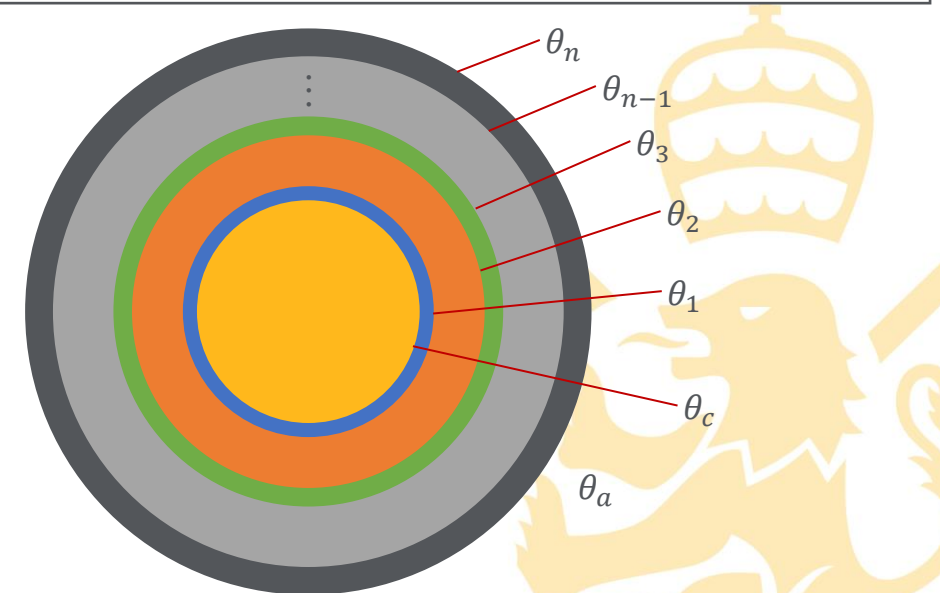
↓

$$\Delta\theta = \theta_c - \theta_a = \dot{Q} \left(\sum_{i=1}^n R_{\theta,i} + R_{\theta,a} \right) = \dot{Q} R_\theta^{\text{tot}}$$

▪ Efecto Joule:

$$\dot{Q} = R_e I^2 \rightarrow \Delta\theta = R_\theta^{\text{tot}} R_e I^2$$

\dot{Q} = energía calorífica total por unidad de tiempo (W)
 θ_i = temperatura del medio (°C)
 $R_{\theta,i}$ = resistencia térmica del medio (°C/W)
 R_e = resistencia eléctrica del conductor (Ω)
 I = corriente circulando por el conductor (A)



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

▪ Ley de Ohm térmica:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\theta}{R_\theta} = \frac{\theta_c - \theta_1}{R_{\theta,1}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{\theta,2}} = \dots = \frac{\theta_n - \theta_a}{R_{\theta,a}}$$

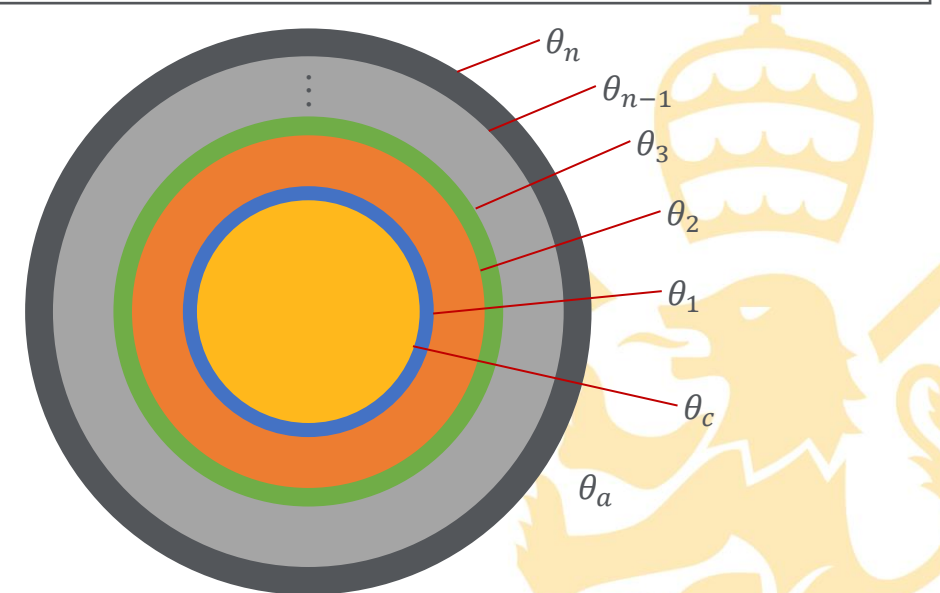
↓

$$\Delta\theta = \theta_c - \theta_a = \dot{Q} \left(\sum_{i=1}^n R_{\theta,i} + R_{\theta,a} \right) = \dot{Q} R_\theta^{\text{tot}}$$

▪ Efecto Joule:

$$\dot{Q} = R_e I^2 \rightarrow \Delta\theta = R_\theta^{\text{tot}} R_e I^2 = R_\theta^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A_\theta} \right) I^2$$

\dot{Q} = energía calorífica total por unidad de tiempo (W)
 θ_i = temperatura del medio (°C)
 $R_{\theta,i}$ = resistencia térmica del medio (°C/W)
 R_e = resistencia eléctrica del conductor (Ω)
 I = corriente circulando por el conductor (A)
 ρ = resistividad del conductor (Ω mm²/m)
 ℓ = longitud del conductor (m)
 A_θ = sección transversal del conductor (mm²)



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

▪ Ley de Ohm térmica:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta\theta}{R_\theta} = \frac{\theta_c - \theta_1}{R_{\theta,1}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{\theta,2}} = \dots = \frac{\theta_n - \theta_a}{R_{\theta,a}}$$

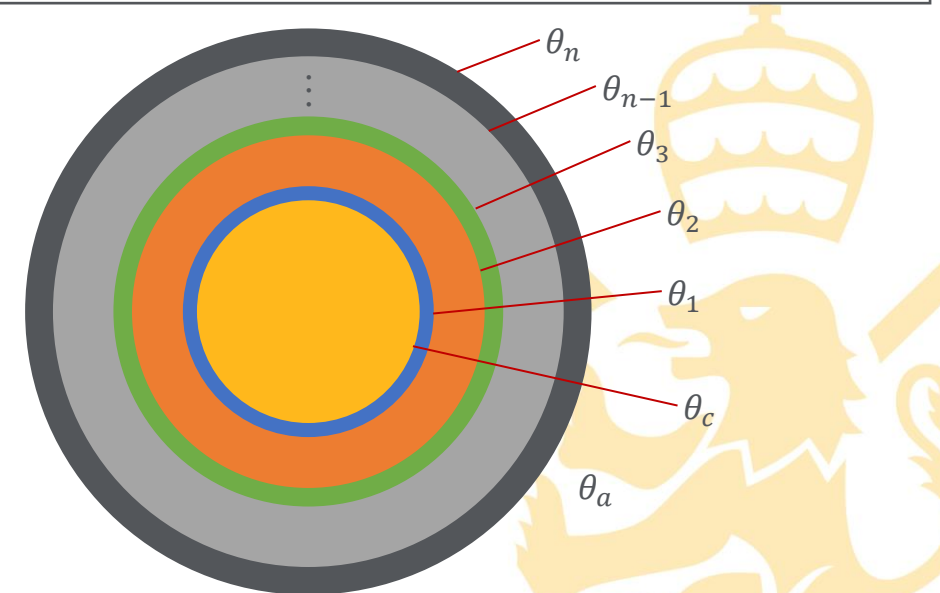
↓

$$\Delta\theta = \theta_c - \theta_a = \dot{Q} \left(\sum_{i=1}^n R_{\theta,i} + R_{\theta,a} \right) = \dot{Q} R_\theta^{\text{tot}}$$

▪ Efecto Joule:

$$\dot{Q} = R_e I^2 \rightarrow \Delta\theta = R_\theta^{\text{tot}} R_e I^2 = R_\theta^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A_\theta} \right) I^2 \rightarrow I = \sqrt{\frac{\Delta\theta A_\theta}{\rho \ell R_\theta^{\text{tot}}}}$$

\dot{Q} = energía calorífica total por unidad de tiempo (W)
 θ_i = temperatura del medio (°C)
 $R_{\theta,i}$ = resistencia térmica del medio (°C/W)
 R_e = resistencia eléctrica del conductor (Ω)
 I = corriente circulando por el conductor (A)
 ρ = resistividad del conductor (Ω mm²/m)
 ℓ = longitud del conductor (m)
 A_θ = sección transversal del conductor (mm²)



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

- **Normativa vigente** proporciona expresiones más complejas para calcular la corriente máxima admisible que consideran, por ejemplo:
 - Resistencia térmica del conductor (efecto Joule)
 - Corrientes parásitas (cables aislados)
 - Transferencias de calor por conducción, convección y radiación
- El reglamento proporciona tablas que relacionan las corrientes máximas admisibles para varios tipos de conductores en función de la sección transversal, tipo de instalación y aislamiento, número de conductores, etc.
- Si la sección determinada **no coincide** con ningún valor comercial → sección comercial inmediatamente superior



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

TABLA B.52-1 (UNE-HD 60364-5-52: 2014) Métodos de instalación de referencia

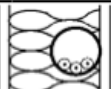
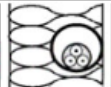

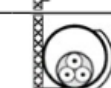
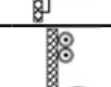

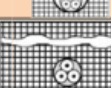

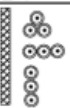
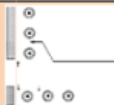
Instalación de referencia			Tabla y columna				
			Intensidad admisible para los circuitos simples				
			Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR		
			Número de conductores				
			2	3	2	3	
	Local	Conductores aislados en un conducto en una pared térmicamente aislante	A1	Tabla C.52-1 bis columna 4	Tabla C.52-1 bis columna 3	Tabla C.52-1 bis columna 7b	Tabla C.52-1 bis columna 6b
	Local	Cable multiconductor en un conducto en una pared térmicamente aislante	A2	Tabla C.52-1 bis columna 3	Tabla C.52-1 bis columna 2	Tabla C.52-1 bis columna 6b	Tabla C.52-1 bis columna 5b
		Conductores aislados en un conducto sobre una pared de madera o mampostería	B1	Tabla C.52-1 bis columna 6a	Tabla C.52-1 bis columna 5a	Tabla C.52-1 bis columna 10b	Tabla C.52-1 bis columna 8b
		Cable multiconductor en un conducto sobre una pared de madera o mampostería	B2	Tabla C.52-1 bis columna 5a	Tabla C.52-1 bis columna 4	Tabla C.52-1 bis columna 8b	Tabla C.52-1 bis columna 7b
		Cables unipolares o multipolares sobre una pared de madera o mampostería	C	Tabla C.52-1 bis columna 8a	Tabla C.52-1 bis columna 6a	Tabla C.52-1 bis columna 11	Tabla C.52-1 bis columna 9b
		Cable multiconductor en conductos enterrados	D1	Tabla C.52-2 bis columna 3	Tabla C.52-2 bis columna 4	Tabla C.52-2 bis columna 5	Tabla C.52-2 bis columna 6
		Cables con cubierta unipolares o multipolares directamente en el suelo	D2				

TABLA B.52-1 (UNE-HD 60364-5-52: 2014) Métodos de instalación de referencia

Instalación de referencia			Tabla y columna			
			Intensidad admisible para los circuitos simples			
			Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE o EPR	
			Número de conductores			
			2	3	2	3
	Cable multiconductor al aire libre Distancia al muro no inferior a 0,3 veces el diámetro del cable	E	Tabla C.52-1 bis columna 9a	Tabla C.52-1 bis columna 7a	Tabla C.52-1 bis columna 12	Tabla C.52-1 bis columna 10b
	Cables unipolares en contacto al aire libre Distancia al muro no inferior al diámetro del cable	F	Tabla C.52-1 bis columna 10a	Tabla C.52-1 bis columna 8a	Tabla C.52-1 bis columna 13	Tabla C.52-1 bis columna 11
	Cables unipolares espaciados al aire libre Distancia entre ellos como mínimo el diámetro del cable	G	Ver UNE-HD 60364-5-52			

XLPE: Polietileno reticulado (90°C) EPR: Etileno-propileno (90°C) PVC: Policloruro de vinilo (70°C)

Cobre: $p_{20} = 1/56 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$; Aluminio: $p_{20} = 1/35 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$

$$\rho = K_{\theta} \cdot p_{20}$$

Para el cobre y el aluminio: $\theta = 70^{\circ}\text{C} \rightarrow K_{\theta} = 1,20$; $\theta = 90^{\circ}\text{C} \rightarrow K_{\theta} = 1,28$

POTENCIAS NORMALIZADAS DE TRANSFORMADORES (EN KVA):

5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000

FACTORES DE MAYORACIÓN K_{θ} : 1,25 para motores y 1,8 para lámparas de descarga



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICA1 ICADE CIHS

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																		
A1	3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE										
A2	3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE											
B1			3PVC	2PVC						3XLPE					2XLPE				
B2			3PVC	2PVC					3XLPE	2XLPE									
C					3PVC				2PVC			3XLPE			2XLPE				
E							3PVC			2PVC			3XLPE		2XLPE				
F								3PVC			2PVC			3XLPE		2XLPE			
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Cobre (No enterrado)	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	21	23	–	
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	–
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	–
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	–
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	–
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	–
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	–	–	–	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	–	–	–	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	–	–	–	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	–	–	–	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	–	–	–	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150	–	–	–	–	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	
	185	–	–	–	–	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
	240	–	–	–	–	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																		
A1	3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE										
A2	3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE											
B1			3PVC	2PVC						3XLPE					2XLPE				
B2			3PVC	2PVC					3XLPE	2XLPE									
C					3PVC				2PVC			3XLPE			2XLPE				
E							3PVC			2PVC			3XLPE		2XLPE				
F								3PVC			2PVC			3XLPE		2XLPE			
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Aluminio (No enterrado)	2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	21	23	25	–	
	4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	–
	6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	–
	10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	–
	16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	–
	25	46	49	54	60	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110	
	35	–	–	–	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
	50	–	–	–	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
	70	–	–	–	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
	95	–	–	–	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
	120	–	–	–	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306
	150	–	–	–	–	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353	
	185	–	–	–	–	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406	
	240	–	–	–	–	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482	



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

Ejemplo:

- Instalación Tipo C
- Cobre
- Trifásica
- Aislamiento PVC
- 35 mm²

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																		
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																
A1		3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE									
A2	3PVC	2PVC			3XLPE		2XLPE											
B1			3PVC	2PVC						3XLPE					2XLPE			
B2			3PVC	2PVC					3XLPE	2XLPE								
C					3PVC					2PVC			3XLPE			2XLPE		
E							3PVC					2PVC			3XLPE		2XLPE	
F										3PVC				2PVC		3XLPE		2XLPE
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Cobre (No enterrado)	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	21	23	—
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135
	35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168
	50	—	—	—	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204
	70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262
	95	—	—	—	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320
	120	—	—	—	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373
150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	
185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	
240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																		
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																
A1		3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE								
A2	3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE										
B1				3PVC		2PVC					3XLPE				2XLPE			
B2			3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE							
C					3PVC					2PVC			3XLPE			2XLPE		
E								3PVC				2PVC			3XLPE		2XLPE	
F									3PVC					2PVC		3XLPE		2XLPE
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
Aluminio (No enterrado)	2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	21	23	25	—
	4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34
	6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44
	10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60
	16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82
	25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98
	35	—	—	—	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122
	50	—	—	—	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149
	70	—	—	—	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192
	95	—	—	—	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233
	120	—	—	—	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273
150	—	—	—	—	—	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	
185	—	—	—	—	—	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	
240	—	—	—	—	—	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICA1 ICADE CIHS

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

Ejemplo:

- Instalación Tipo C
- Cobre
- Trifásica
- Aislamiento PVC
- 35 mm²

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE									
A2	3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE											
B1				3PVC		2PVC						3XLPE				2XLPE			
B2				3PVC		2PVC						3XLPE				2XLPE			
C						3PVC					2PVC			3XLPE			2XLPE		
E								3PVC					2PVC			3XLPE		2XLPE	
F											3PVC				2PVC		3XLPE	2XLPE	
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Cobre (No enterrado)	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	21	23	—	
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	—
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	—
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	—
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	—
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	—
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	—	—	—	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	—	—	—	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	—	—	—	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
	150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458
	185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523
	240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE									
A2	3PVC	2PVC			3XLPE			2XLPE											
B1				3PVC		2PVC					3XLPE				2XLPE				
B2			3PVC	2PVC					3XLPE		2XLPE								
C						3PVC				2PVC			3XLPE			2XLPE			
E								3PVC				2PVC			3XLPE		2XLPE		
F										3PVC				2PVC		3XLPE		2XLPE	
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Aluminio (No enterrado)	2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	21	23	25	—	
	4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	—
	6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	—
	10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	—
	16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	—
	25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110
	35	—	—	—	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
	50	—	—	—	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
	70	—	—	—	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
	95	—	—	—	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
	120	—	—	—	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306
	150	—	—	—	—	—	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353
185	—	—	—	—	—	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406	
240	—	—	—	—	—	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482	



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICA1 ICADE CIHS

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

Ejemplo:

- Instalación Tipo C
- Cobre
- Trifásica
- Aislamiento PVC
- 35 mm²

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE											
A2	3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE												
B1			3PVC	2PVC						3XLPE					2XLPE				
B2			3PVC	2PVC					3XLPE	2XLPE									
C						3PVC				2PVC			3XLPE			2XLPE			
E							3PVC					2PVC			3XLPE		2XLPE		
F										3PVC				2PVC		3XLPE		2XLPE	
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Cobre (No enterrado)	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	5,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	—
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	—
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	—
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	—
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	—
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	—
	25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146
	35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	—	—	—	116	122	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220
	70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
	95	—	—	—	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343
	120	—	—	—	207	216	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397
150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	
185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE											
A2	3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE												
B1				3PVC		2PVC					3XLPE				2XLPE				
B2				3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE								
C						3PVC				2PVC			3XLPE			2XLPE			
E								3PVC				2PVC			3XLPE		2XLPE		
F										3PVC				2PVC		3XLPE		2XLPE	
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Aluminio (No enterrado)	2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	20	21	23	25	—
	4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	—
	6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	—
	10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	—
	16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	—
	25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110
	35	—	—	—	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
	50	—	—	—	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
	70	—	—	—	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
	95	—	—	—	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
120	—	—	—	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306	
150	—	—	—	—	—	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353	
185	—	—	—	—	—	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406	
240	—	—	—	—	—	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482	



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

Ejemplo:

- Instalación Tipo C
- Cobre
- Trifásica
- Aislamiento PVC
- 35 mm²

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE											
A2	3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE												
B1				3PVC	2PVC					3XLPE					2XLPE				
B2		3PVC	2PVC					3XLPE	2XLPE										
C						3PVC				2PVC			3XLPE			2XLPE			
E								3PVC				2PVC			3XLPE		2XLPE		
F										3PVC				2PVC		3XLPE		2XLPE	
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Cobre (No enarrado)	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	5,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	—
	2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	—
	4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	—
	6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	—
	10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	—
	16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	—
	25	58	60	66	73	76	78	80	87	91	95	100	106	110	116	122	128	136	148
	35	—	—	—	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182
	50	—	—	—	—	110	122	128	133	138	145	151	155	162	167	174	186	204	228
	70	—	—	—	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282
95	—	—	—	180	187	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343	
120	—	—	—	207	216	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397	
150	—	—	—	—	—	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	
185	—	—	—	—	—	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240	—	—	—	—	—	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DE LOS CONDUCTORES																			
Método de instalación		Número de conductores cargados y tipo de aislamiento																	
A1		3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE											
A2	3PVC	2PVC				3XLPE	2XLPE												
B1				3PVC		2PVC				3XLPE					2XLPE				
B2			3PVC	2PVC				3XLPE		2XLPE									
C					3PVC				2PVC		3XLPE					2XLPE			
E							3PVC			2PVC			3XLPE			2XLPE			
F								3PVC				2PVC			3XLPE		2XLPE		
Sección mm²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13	
Aluminio (No enterrado)	2,5	11,5	12	13	14	15	16	16,5	17	17,5	18	19	20	20	20	21	23	25	—
	4	15	16	17	19	20	21	22	22	23	24	25	26	28	27	29	31	34	—
	6	20	20	22	24	25	27	29	28	30	31	32	33	35	36	38	40	44	—
	10	26	27	31	33	35	38	40	40	41	42	44	46	49	50	52	56	60	—
	16	35	37	41	46	48	50	52	53	55	57	60	63	66	66	70	76	82	—
	25	46	49	54	60	63	63	66	67	70	72	75	78	81	84	88	91	98	110
	35	—	—	—	74	78	78	81	83	87	89	93	97	101	104	109	114	122	136
	50	—	—	—	90	94	95	100	101	106	108	113	118	123	127	132	140	149	167
	70	—	—	—	115	121	121	127	130	136	139	145	151	158	162	170	180	192	215
	95	—	—	—	140	146	147	154	159	166	169	177	183	192	197	206	219	233	262
120	—	—	—	161	169	171	179	184	192	196	205	213	222	228	239	254	273	306	
150	—	—	—	—	—	196	205	213	222	227	237	246	257	264	276	294	314	353	
185	—	—	—	—	—	222	232	243	254	259	271	281	293	301	315	337	361	406	
240	—	—	—	—	—	261	273	287	300	306	320	332	347	355	372	399	427	482	

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio Térmico

UNE 60.364-5-52

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE						
Número de conductores cargados y tipo de aislamiento						
Método de instalación		Sección	2PVC	3PVC	2XLPE	3XLPE
D1/D2	Cobre (Enterrado)	1,5 mm ²	20	17	24	21
		2,5 mm ²	27	22	32	27
		4 mm ²	36	29	42	35
		6 mm ²	44	37	53	44
		10 mm ²	59	49	70	58
		16 mm ²	76	63	91	75
		25 mm ²	98	81	116	96
		35 mm ²	118	97	140	117
		50 mm ²	140	115	166	138
		70 mm ²	173	143	204	170
		95 mm ²	205	170	241	202
		120 mm ²	233	192	275	230
		150 mm ²	264	218	311	260
		185 mm ²	296	245	348	291
		240 mm ²	342	282	402	336
300 mm ²	387	319	455	380		

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE						
Número de conductores cargados y tipo de aislamiento						
Método de instalación		Sección	2PVC	3PVC	2XLPE	3XLPE
D1/D2	Alumino (Enterrado)	2,5 mm ²	20	17,5	24	21
		4 mm ²	27	22	32	27
		6 mm ²	34	28	40	34
		10 mm ²	45	38	53	45
		16 mm ²	58	49	70	58
		25 mm ²	76	62	89	74
		35 mm ²	91	76	107	90
		50 mm ²	107	89	126	107
		70 mm ²	133	111	156	132
		95 mm ²	157	131	185	157
		120 mm ²	179	149	211	178
		150 mm ²	202	169	239	201
		185 mm ²	228	190	267	226
		240 mm ²	263	218	309	261
		300 mm ²	297	247	349	295

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

- Límites máximos de la caída de tensión entre la generación y el consumidor regulada por normativa
- Cumplimiento simultáneo de los criterios térmico y de caída de tensión → se aplica la sección **regulada inmediatamente superior a la mayor** de las secciones resultantes
 - Líneas cortas: $A_{\theta} > A_V$
 - Líneas largas: $A_V > A_{\theta}$



Redes Eléctricas en BT

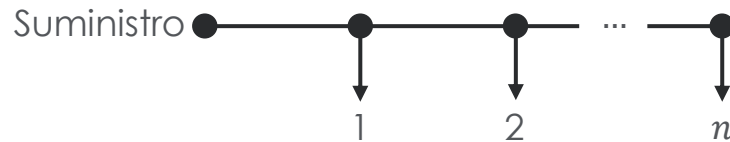
2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

- Proceso de diseño para distribuidor (líneas de sección **constante**):
 1. **Estimación de reactancia** unitaria de la línea (p.ej. $0.4 \Omega/\text{km}$ en líneas aéreas)
 2. **Cálculo de reactancia** acumulada del distribuidor por tramos
 3. **Expresar la resistencia** acumulada del distribuidor **en función de la sección** transversal y la **resistividad** del conductor por tramos
 4. **Cálculo de la sección** del conductor en función de la máxima caída de tensión admisible
 5. **Elección de sección normalizada** inmediatamente superior a la calculada
- Típicamente, en redes de baja tensión, y en media tensión de sección pequeña ($<120\text{mm}^2$) y de cables aislados $\rightarrow R_e \gg X \Rightarrow X \approx 0$

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

- Caída de Tensión Total en Alimentador Radial con Múltiples Cargas:



ΔV = caída de tensión (%)

V_N = tensión nominal del distribuidor (V)

n = número de derivaciones del distribuidor

$R_{e,i}$ = resistencia eléctrica acumulada por fase desde suministro hasta la carga i (Ω)

X_i = reactancia acumulada por fase desde suministro hasta la carga i (Ω)

P_i = potencia activa consumida en cada derivación (W)

Q_i = potencia reactiva consumida en cada derivación (VAr)

I_i = corriente a través de la derivación i (A)

φ_i = factor de potencia de la carga i (-)

ρ = resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

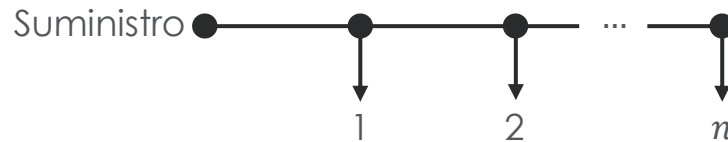
ℓ_i = distancia desde suministro hasta carga i (m)

A_V = sección transversal del conductor calculada (mm^2)

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

- Caída de Tensión Total en Alimentador Radial con Múltiples Cargas:



- **Monofásico**

$$\Delta V[\%] = \frac{2 \cdot 100}{V_N^2} \sum_{i=1}^n (R_{e,i} P_i + X_i Q_i) = \frac{2 \cdot 100}{V_N} \sum_{i=1}^n \left(\rho \frac{\ell_i}{A_V} I_i \cos \varphi_i + X_i I_i \sin \varphi_i \right)$$

ΔV = caída de tensión (%)

V_N = tensión nominal del distribuidor (V)

n = número de derivaciones del distribuidor

$R_{e,i}$ = resistencia eléctrica acumulada por fase desde suministro hasta la carga i (Ω)

X_i = reactancia acumulada por fase desde suministro hasta la carga i (Ω)

P_i = potencia activa consumida en cada derivación (W)

Q_i = potencia reactiva consumida en cada derivación (VAr)

I_i = corriente a través de la derivación i (A)

φ_i = factor de potencia de la carga i (-)

ρ = resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

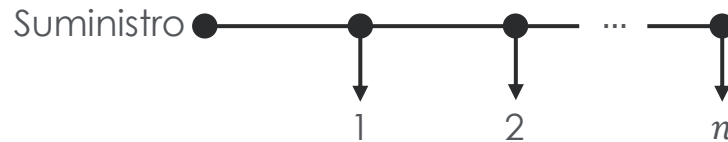
ℓ_i = distancia desde suministro hasta carga i (m)

A_V = sección transversal del conductor calculada (mm^2)

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

- Caída de Tensión Total en Alimentador Radial con Múltiples Cargas:



- **Monofásico**

$$\Delta V[\%] = \frac{2 \cdot 100}{V_N^2} \sum_{i=1}^n (R_{e,i} P_i + X_i Q_i) = \frac{2 \cdot 100}{V_N} \sum_{i=1}^n \left(\rho \frac{\ell_i}{A_V} I_i \cos \varphi_i + X_i I_i \sin \varphi_i \right)$$

- **Trifásico**

$$\Delta V[\%] = \frac{100}{V_N^2} \sum_{i=1}^n (R_{e,i} P_i + X_i Q_i) = \frac{100\sqrt{3}}{V_N} \sum_{i=1}^n \left(\rho \frac{\ell_i}{A_V} I_i \cos \varphi_i + X_i I_i \sin \varphi_i \right)$$

ΔV = caída de tensión (%)

V_N = tensión nominal del distribuidor (V)

n = número de derivaciones del distribuidor

$R_{e,i}$ = resistencia eléctrica acumulada por fase desde suministro hasta la carga i (Ω)

X_i = reactancia acumulada por fase desde suministro hasta la carga i (Ω)

P_i = potencia activa consumida en cada derivación (W)

Q_i = potencia reactiva consumida en cada derivación (VAr)

I_i = corriente a través de la derivación i (A)

φ_i = factor de potencia de la carga i (-)

ρ = resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

ℓ_i = distancia desde suministro hasta carga i (m)

A_V = sección transversal del conductor calculada (mm^2)

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

▪ Resistencia vs. Resistividad:

$$\Delta\theta = R_{\theta}^{\text{tot}} R_e I^2 = R_{\theta}^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) I^2$$

$$\Delta\theta^{\text{max}} = R_{\theta}^{\text{tot}} R_e (I^{\text{max}})^2 = R_{\theta}^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) (I^{\text{max}})^2$$

θ	Temp. del conductor (°C)
θ_a	Temp. ambiente (°C) 40°C al aire / 25°C enterrado
θ^{max}	Temp. máxima admisible del conductor (°C) PVC: 70°C / 90°C XLPE o EPR
R_{θ}^{tot}	resistencia térmica del conductor (°C/W)
R_e	resistencia eléctrica del conductor (Ω)
ℓ	longitud del conductor (m)
A_{θ}	sección transversal del conductor (mm ²)
I	corriente circulando por el conductor (A)
I^{max}	corriente máxima admisible por el conductor (A)
ρ	resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

▪ Resistencia vs. Resistividad:

$$\Delta\theta = R_{\theta}^{\text{tot}} R_e I^2 = R_{\theta}^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) I^2$$

$$\Delta\theta^{\text{max}} = R_{\theta}^{\text{tot}} R_e (I^{\text{max}})^2 = R_{\theta}^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) (I^{\text{max}})^2$$

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta\theta^{\text{max}}} = \frac{\theta - \theta_a}{\theta^{\text{max}} - \theta_a} = \left(\frac{I}{I^{\text{max}}} \right)^2$$

θ = Temp. del conductor (°C)

θ_a = Temp. ambiente (°C)
40°C al aire / 25°C enterrado

θ^{max} = Temp. máxima admisible del conductor (°C)
PVC: 70°C / 90°C XLPE o EPR

R_{θ}^{tot} = resistencia térmica del conductor (°C/W)

R_e = resistencia eléctrica del conductor (Ω)

ℓ = longitud del conductor (m)

A_{θ} = sección transversal del conductor (mm²)

I = corriente circulando por el conductor (A)

I^{max} = corriente máxima admisible por el conductor (A)

ρ = resistividad del conductor (Ω mm²/m)



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI ICADE CIHS

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

▪ Resistencia vs. Resistividad:

$$\Delta\theta = R_{\theta}^{\text{tot}} R_e I^2 = R_{\theta}^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) I^2$$

$$\Delta\theta^{\text{max}} = R_{\theta}^{\text{tot}} R_e (I^{\text{max}})^2 = R_{\theta}^{\text{tot}} \left(\rho \frac{\ell}{A} \right) (I^{\text{max}})^2$$

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta\theta^{\text{max}}} = \frac{\theta - \theta_a}{\theta^{\text{max}} - \theta_a} = \left(\frac{I}{I^{\text{max}}} \right)^2$$

↓

$$\theta = \theta_a + (\theta^{\text{max}} - \theta_a) \left(\frac{I}{I^{\text{max}}} \right)^2$$

$$\rho = \rho_{20} (1 + \alpha(\theta - 20))$$

θ = Temp. del conductor (°C)

θ_a = Temp. ambiente (°C)
40°C al aire / 25°C enterrado

θ^{max} = Temp. máxima admisible del conductor (°C)
PVC: 70°C / 90°C XLPE o EPR

R_{θ}^{tot} = resistencia térmica del conductor (°C/W)

R_e = resistencia eléctrica del conductor (Ω)

ℓ = longitud del conductor (m)

A_{θ} = sección transversal del conductor (mm²)

I = corriente circulando por el conductor (A)

I^{max} = corriente máxima admisible por el conductor (A)

ρ = resistividad del conductor ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

ρ_{20} = resistividad del conductor a 20°C ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)

$\rho_{20, \text{Cu}} = 1/58$ / $\rho_{20, \text{Al}} = 1/35.71$

α = coef. de variación de resistencia con la Tª (°C⁻¹)

$\alpha_{\text{Cu}} = 0.00393$ / $\alpha_{\text{Al}} = 0.00407$

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

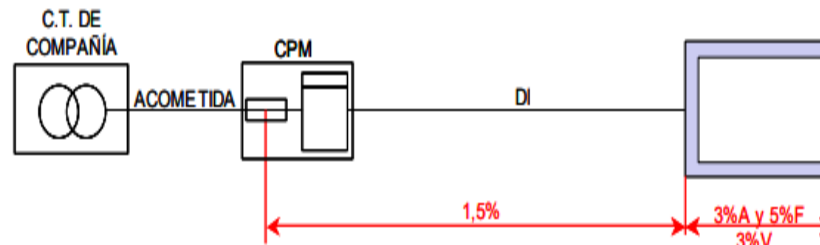
Parte de la instalación	Para alimentar a :	Caída de tensión máxima en % de la tensión de suministro.	$e=\Delta U_{III}$	$e=\Delta U_I$
LGA: (Línea General de Alimentación)	Suministros de un único usuario	No existe LGA	--	--
	Contadores totalmente concentrados	0,5%	2 V	--
	Centralizaciones parciales de contadores	1,0%	4 V	--
DI (Derivación Individual)	Suministros de un único usuario	1,5%	6 V	3,45 V
	Contadores totalmente concentrados	1,0%	4 V	2,3 V
	Centralizaciones parciales de contadores	0,5%	2 V	1,15 V
Circuitos interiores	Circuitos interiores en viviendas	3%	12 V	6,9 V
	Circuitos de alumbrado que no sean viviendas	3%	12 V	6,9 V
	Circuitos de fuerza que no sean viviendas	5%	20 V	11,5 V

Tabla 6. Límites de caídas de tensión reglamentarios. Nota: la LGA es siempre trifásica.

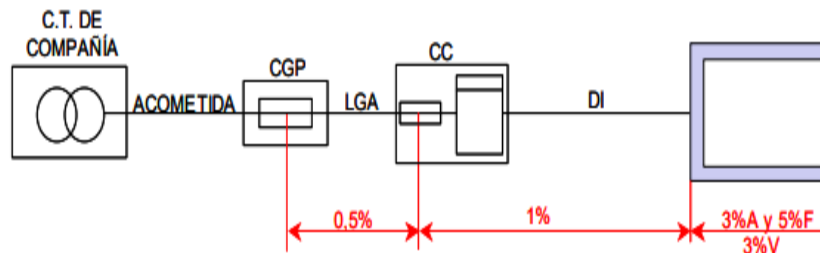
Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de ΔV

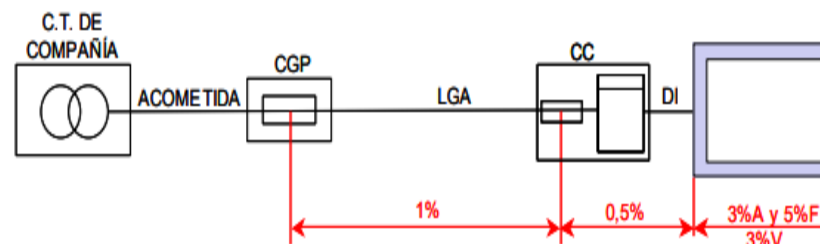
Esquema para un único usuario



Esquema para una única centralización de contadores:

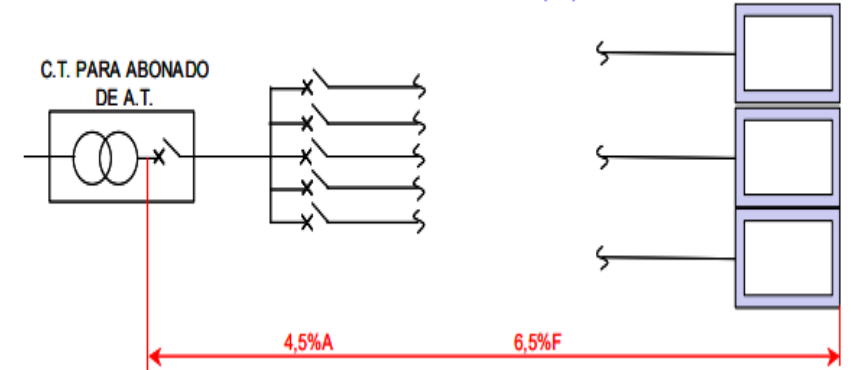


Esquema cuando existen varias centralizaciones de contadores:



ESQUEMA GENERAL PARA INDUSTRIA

Esquema de una instalación industrial que se alimenta directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio.



Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de I_{cc}

- Sección del conductor ante cortocircuitos:

$$\dot{Q}(t) = A_{cc} \ell c \frac{d\theta}{dt} = \rho \frac{\ell}{A_{cc}} i_{cc}^2(t)$$

A_{cc}	=	sección transversal del conductor (m ²)
c	=	calor específico volumétrico del conductor (J m ³ /K)
i_{cc}	=	corriente instantánea de cortocircuito (A)
I_{cc}	=	corriente eficaz de cortocircuito (A)

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de I_{cc}

- Sección del conductor ante cortocircuitos:

$$\dot{Q}(t) = A_{cc} \ell c \frac{d\theta}{dt} = \rho \frac{\ell}{A_{cc}} i_{cc}^2(t) \rightarrow i_{cc}^2(t) dt = \frac{A_{cc}^2 c d\theta}{\rho}$$

A_{cc}	=	sección transversal del conductor (m ²)
c	=	calor específico volumétrico del conductor (J m ³ /K)
i_{cc}	=	corriente instantánea de cortocircuito (A)
I_{cc}	=	corriente eficaz de cortocircuito (A)

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de I_{cc}

▪ Sección del conductor ante cortocircuitos:

$$\dot{Q}(t) = A_{cc} \ell c \frac{d\theta}{dt} = \rho \frac{\ell}{A_{cc}} i_{cc}^2(t) \rightarrow i_{cc}^2(t) dt = \frac{A_{cc}^2 c d\theta}{\rho}$$

Integral de Joule

$$\rho = \rho_{20} (1 + \alpha(\theta - 20))$$

$$\int_{t_i}^{t_f} i_{cc}^2(t) dt = \frac{A_{cc}^2 c}{\rho_{20} \alpha} \ln \left[\frac{1 + \alpha(\theta_f - 20)}{1 + \alpha(\theta_i - 20)} \right]$$

A_{cc}	=	sección transversal del conductor (m ²)
c	=	calor específico volumétrico del conductor (J m ³ /K)
i_{cc}	=	corriente instantánea de cortocircuito (A)
I_{cc}	=	corriente eficaz de cortocircuito (A)
θ_i	=	temperatura del conductor al comienzo del cortocircuito (°C)
θ_f	=	temperatura del conductor al final del cortocircuito (°C)

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Criterio de I_{cc}

▪ Sección del conductor ante cortocircuitos:

$$\dot{Q}(t) = A_{cc} \ell c \frac{d\theta}{dt} = \rho \frac{\ell}{A_{cc}} i_{cc}^2(t) \rightarrow i_{cc}^2(t) dt = \frac{A_{cc}^2 c d\theta}{\rho}$$

Integral de Joule

$$\rho = \rho_{20} (1 + \alpha(\theta - 20))$$

$$\int_{t_i}^{t_f} i_{cc}^2(t) dt = \frac{A_{cc}^2 c}{\rho_{20} \alpha} \ln \left[\frac{1 + \alpha(\theta_f - 20)}{1 + \alpha(\theta_i - 20)} \right]$$

↓ Si la corriente de CC es constante:

$$I_{cc}^2 \cdot t_{cc} = K^2 \cdot A_{cc}^2 \cdot \ln \left(\frac{\beta + \theta_f}{\beta + \theta_i} \right)$$

A_{cc}	=	sección transversal del conductor (m ²)
c	=	calor específico volumétrico del conductor (J m ³ /K)
i_{cc}	=	corriente instantánea de cortocircuito (A)
I_{cc}	=	corriente eficaz de cortocircuito (A)
θ_i	=	temperatura del conductor al comienzo del cortocircuito (°C)
θ_f	=	temperatura del conductor al final del cortocircuito (°C)
t_{cc}	=	duración del cortocircuito (s)
K	=	coeficiente que depende del conductor y aislante (°C)
		$K_{Cu} = 226 / K_{Al} = 148$
β	=	$1/\alpha - 20$ (°C)
		$\beta_{Cu} = 234.5 / \beta_{Al} = 225.7$

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Definición del Conductor

▪ Monofásicos:

- Si $A < 16 \text{ mm}^2 \Rightarrow 2 \times (\dots) \text{mm}^2 + (\dots) \text{mm}^2 \text{TT}$
- Si $A > 16 \text{ mm}^2 \Rightarrow (\dots) \text{mm}^2 + (\dots) \text{mm}^2 + (\dots) \text{mm}^2 \text{TT}$

▪ Trifásicos:

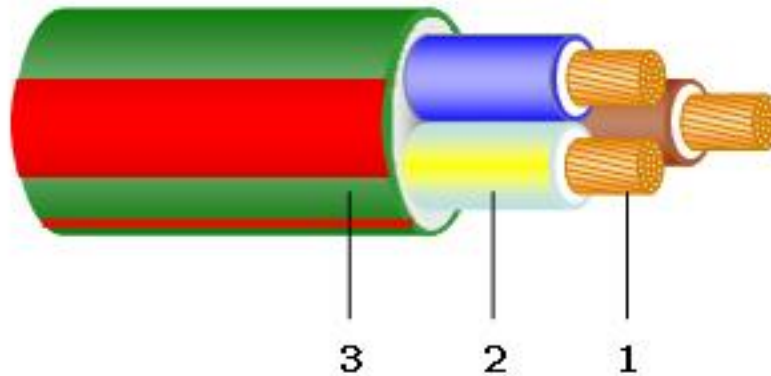
- Si $A < 16 \text{ mm}^2 \Rightarrow 4 \times (\dots) \text{mm}^2 + (\dots) \text{mm}^2 \text{TT}$
- Si $A > 16 \text{ mm}^2 \Rightarrow 3 \times (\dots) \text{mm}^2 + (\dots) \text{mm}^2 + (\dots) \text{mm}^2 \text{TT}$



Redes Eléctricas en BT

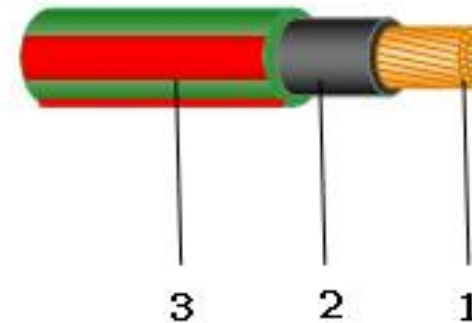
2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Definición del Conductor

**Afumex 1000 V (AS)
RZ1-K 0,6/1 kV
(multipolar)**



1. Conductor de cobre flexible
2. **Aislamiento** de XLPE (colores)
3. **Cubierta** Afumex (Z1) con franja de color según sección

**Afumex 1000 V (AS)
RZ1-K 0,6/1 kV
(unipolar)**



1. Conductor de cobre flexible
2. **Aislamiento** de XLPE (negro)
3. **Cubierta** Afumex (Z1) con franja de color según sección

Redes Eléctricas en BT

2.3 – Cálculo de Líneas en CA – Coeficientes de Corrección

- **Coef. de Minoración de Intensidad Máxima Admisible del Conductor (aplicar según el caso):**
 - ITC BT-06 Redes Aéreas de BT
 - ITC BT-07 Redes Subterráneas de BT
 - ITC BT-19 Prescripciones Generales
 - ITC BT-29 Locales con Riesgo de Incendio o Explosión
- **Coef. que Varían la Corriente Calculada (aplicar según el caso):**
 - ITC BT-44 Receptores para Alumbrado
 - ITC BT-47 Motores



Redes Eléctricas en BT

2.4 – Cálculo Sección Mínima de Conductores

Proceso de Resolución



Redes Eléctricas en BT

2.4 – Cálculo Sección Mínima de Conductores

Enunciado

- Calcular la sección de los conductores de una industria formada por líneas trifásicas de 400 voltios, 50 Hz, factor de potencia 0,9, que está formada por una línea general de alimentación que parte desde un CT de abonado, con una caída de tensión del 3%, que alimenta a un cuadro general que distribuye hacia una instalación que consume 113,95 A, una enfriadora de 92,59 kVA y un motor eléctrico que consume 67,5 kW, todos los elementos disponen de arrancadores suaves. Las caídas de tensión en los elementos finales no deben superar el 6,5%. El cuadro general tiene un coeficiente de simultaneidad de 0,85.
- Los conductores son de cobre, unipolares, aislados con XLPE, 0,6 / 1 kV. La longitud de las líneas es:
 - Línea general de alimentación: 105 metros.
 - Derivación a instalación: 80 metros.
 - Derivación a enfriadora: 40 metros.
 - Derivación a motor eléctrico: 65 metros.

- La conductividad del cobre a 20°C es 58.
- El trazado de las líneas se define de la siguiente manera:
 1. El cuadro eléctrico general es alimentado a través de una línea enterrada bajo tubo (ITC BT 19) a una profundidad de 1,25 metros.
 2. La instalación es alimentada a través de canaleta empotrada en el suelo.
 3. La enfriadora es alimentada a través de unas bandejas sin tapa que discurren desprotegidas por el exterior. (ITC BT 19 MONTAJE F)
 4. El motor eléctrico se alimenta a través de una bandeja (ITC BT 19 MONTAJE F). El conductor que discurre por la bandeja en todo su trazado discurre por una sala blanca donde la temperatura ambiente es siempre de 20°C.

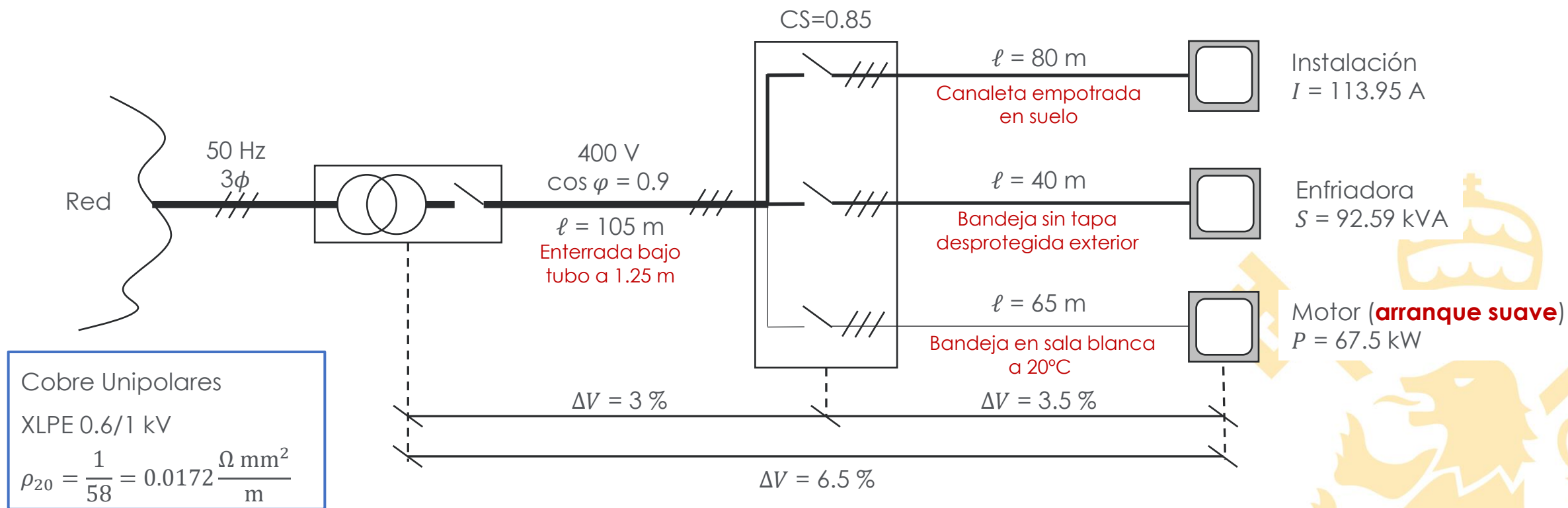
El cuadro general se encuentra adosado a la pared de la sala blanca, por lo que el trazado de esta línea siempre será a través de dicha sala.



Redes Eléctricas en BT

2.4 – Cálculo Sección Mínima de Conductores

1. Planteamiento del Problema








Redes Eléctricas en BT

2.5 – Sistemas de Conexión del Neutro

▪ Distribución en Baja Tensión – ITC-BT-08

- El esquema de régimen de neutro se elige en función de la reglamentación vigente, de las necesidades propias de la explotación y de la naturaleza de los receptores
- El tipo de régimen de neutro escogido → Determina el tipo de protección (TT, TN o IT)

ESQUEMA	ÁMBITO	
TT o TN	REDES DE SUMINITRO Y SUS CONEXIONES USOS DOMÉSTICOS SECTOR TERCIARIO INDUSTRIA	  
IT	ZONAS HOSPITALARIAS (QUIRÓFANOS, UVI) CIRCUITOS DE SEGURIDAD MAQUINAS AMBIENTES ESPECIALES	
IT o TN	MINAS O CANTERAS	

Redes Eléctricas en BT

2.6 – Conductores de Neutro y Protección

▪ Conductor de Protección

- Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos
- SECCIÓN MÍNIMA DEL CONDUCTOR DE PROTECCIÓN NO ENTERRADO (ITC BT-18)



Sección de los conductores de fase de la instalación $S \text{ (mm}^2\text{)}$	Sección mínima de los conductores de protección $S_p \text{ (mm}^2\text{)}$
$S \leq 16$ $16 < S \leq 35$ $S > 35$	$S_p = S$ $S_p = 16$ $S_p = S/2$

▪ Sección mínima del Neutro

- a) Igual a la de los conductores de fase
- b) Mínimo 10 mm² para Cu, y 16 mm² para Al
- c) Mitad de la sección de los conductores de fase

Tabla 1 – ITC-BT-14 REBT



¡¡PRECAUCIÓN ARMÓNICOS!!
ITC-BT-19

Redes Eléctricas en BT

2.7 – Redes de Distribución Públicas

➤ Tipos de instalaciones de Enlace en Función de

▪ Tipo de Red Pública

- Aérea
 - a) Con conducciones situadas sobre fachada
 - b) Con conducciones tensadas
- Subterránea
 - a) De derivación
 - b) De bucle, entrada y salida
- Mixta
 - a) Aérea y subterránea

▪ Número de Abonados

- Individual
- De 2 abonados
- Pluriabonados

▪ La situación

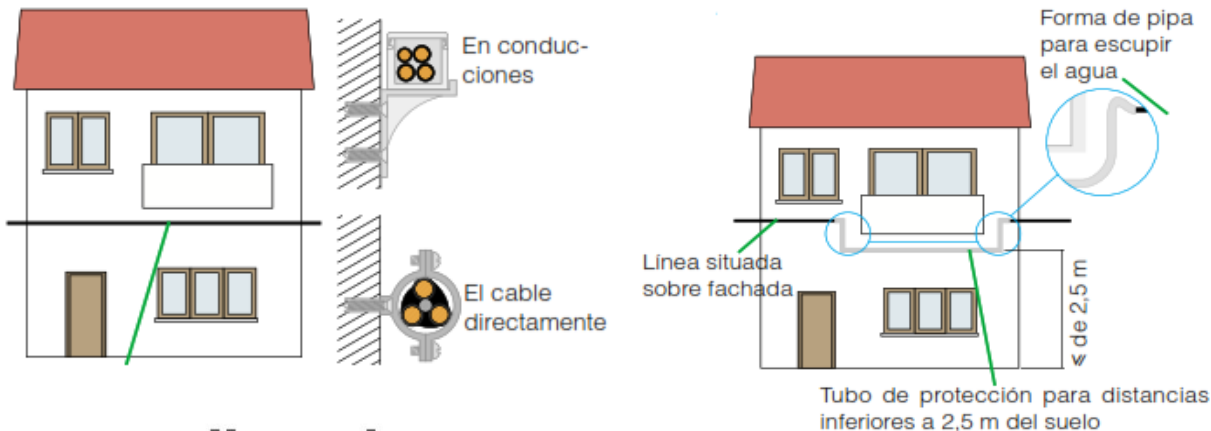
- Las individuales o para 2 abonados pueden ser
 - a) Interiores
 - b) Exteriores
- Las de pluriabonados
 - a) Interiores o bajo tejado

Redes Eléctricas en BT

2.7 – Redes de Distribución Públicas

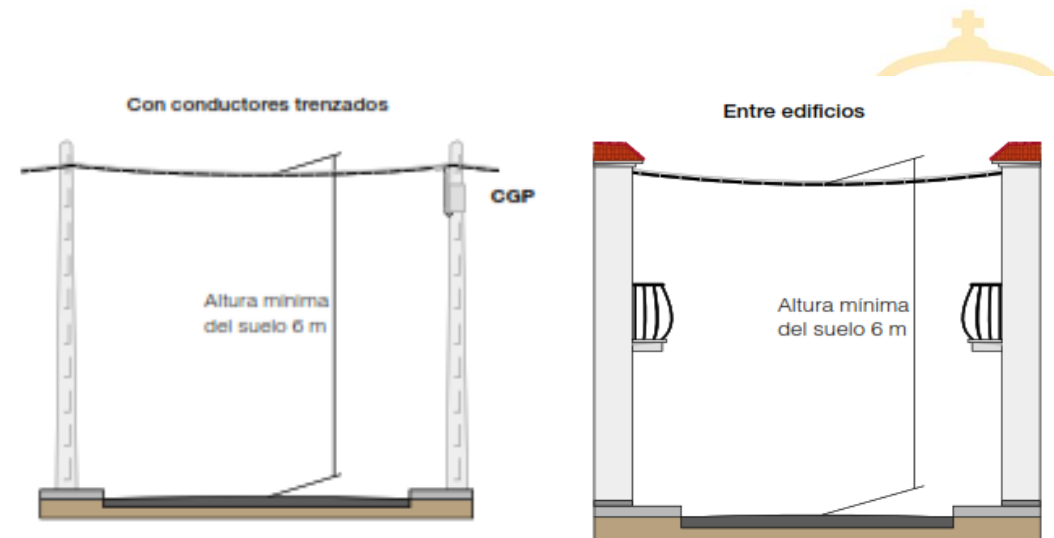
▪ Acometidas Aéreas

- Se utilizan conductores aislados de 0,6/1 kV (individual o trenzado)
- Es aconsejable evitar la accesibilidad a los conductores mediante la instalación en conductos cerrados o canaletas.



▪ Acometidas Sobre Poste

- Se utilizan conductores aislados de 0,6/1 kV (individual o trenzado)
- Sitado sobre los postes y tensados



Redes Eléctricas en BT

2.7 – Redes de Distribución Públicas

▪ Componentes de una Instalación de BT

1. **CGP.** Es el elemento de la instalación donde se alojan los elementos de protección de las líneas generales de alimentación (ITC BT-13)
2. **LGA.** Es la línea que enlaza la CGP con la CC (ITC BT-14)
3. **Centralización de Contadores.** Son los cuadros ubicados en módulos, paneles o armarios donde se encuentran los contadores u otros elementos para la medida de la energía eléctrica (ITC BT 16)
4. **Derivaciones individuales.** Es una parte de la instalación que parte desde la LGA y suministra energía eléctrica a cada usuario (ITC BT-15)
5. **CGPM.** Se encuentra ubicados en la entrada de la DI en el local o vivienda. En algunos casos se encuentra el ICP y los dispositivos generales de mando y protección (ITC BT-17)

Redes Eléctricas en BT

2.7 – Redes de Distribución Públicas

▪ Acometidas Redes Subterráneas

- La conexión de la red es al CGP
- Para abonados individuales o para 2 abonados, la CGP y medida puede ser un mismo elemento

▪ Cajas de Protección y Medida

- Para pluriabonados, la CGP se colocará lo más cerca posible de la centralización de contadores y de fácil accesibilidad
- Debe colocarse la caja general de protección con accesibilidad desde el exterior
- La caja general de protección puede ser del tipo
 - a) Empotrable en muro o al aire
 - b) Sobre cimiento de hormigón u obra



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICA1 ICADE CIHS

Redes Eléctricas en BT

2.7 – Redes de Distribución Públicas

■ Esquemas (ITC-BT-12)

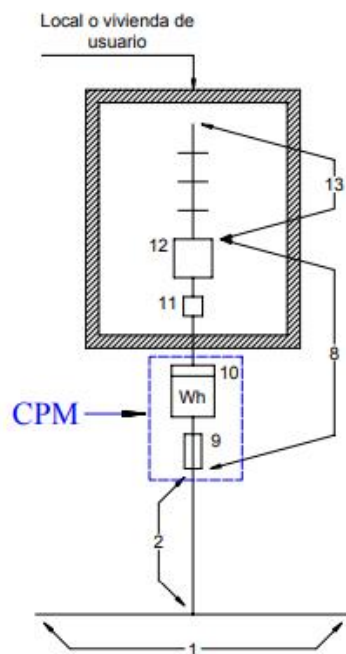
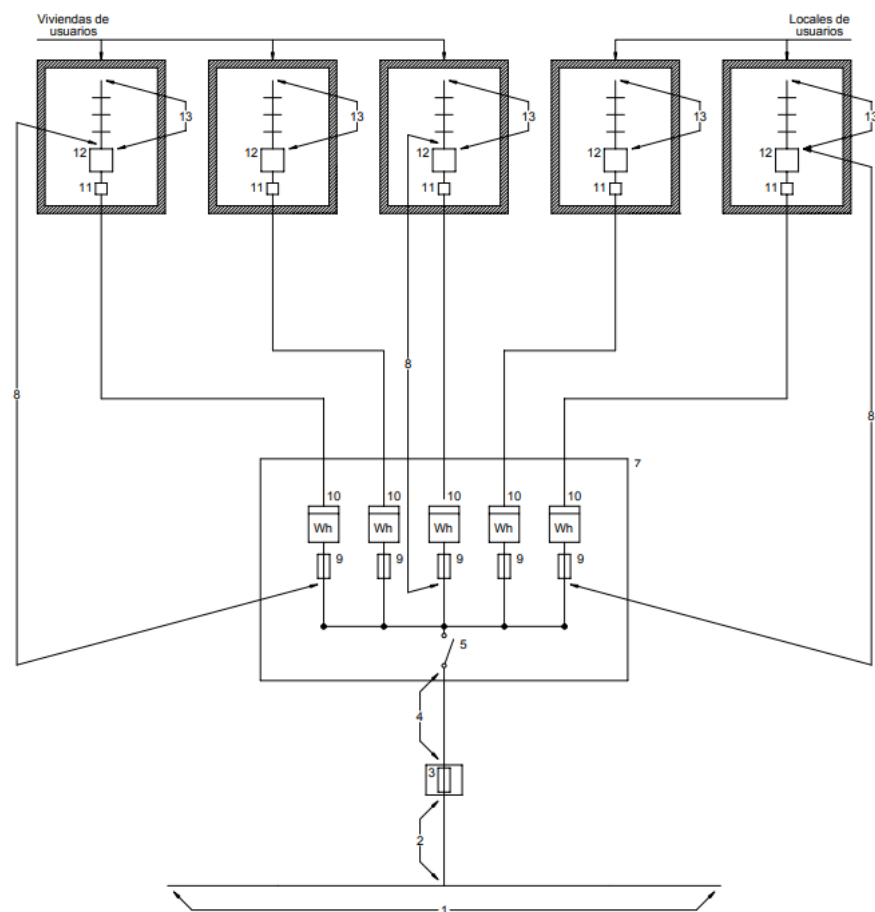


Figura 1. Esquema 2.1. Para un solo usuario



Leyenda

- 1 Red de distribución.
- 2 Acometida.
- 3 Caja general de protección.
- 4 Línea general de alimentación.
- 5 Interruptor general de maniobra.
- 6 Caja de derivación.
- 7 Emplazamiento de contadores.
- 8 Derivación individual.
- 9 Fusible de seguridad.
- 10 Contador.
- 11 Caja para interruptor de control de potencia.
- 12 Dispositivos generales de mando y protección.
- 13 Instalación interior.

Redes Eléctricas en BT

2.7 – Redes de Distribución Públicas

▪ Acometidas Mixtas

- Son las que disponen de una parte aérea y una parte subterránea. Cada una de las partes debe cumplir sus propias prescripciones.

