



La fuerza que transforma

Anexo

ANEXO B1: Calculo Eléctrico De Conductores BT

Código: **DE.MA.023-AX04**

Edición: **01**

Fecha de aprobación: 07/01/2022

Elaborador:

Véase aprobación documento: DE.MA.023

Revisor:

Véase aprobación documento: DE.MA.023

Aprobador:

Véase aprobación documento: DE.MA.023

B1.1 RESISTENCIA

El valor de la resistencia por unidad de longitud, en corriente continua y a la temperatura θ , vendrá dada por la siguiente expresión:

$$R'_{cc,\theta} = R'_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\theta - 20)]$$

Siendo:

$R'_{cc,\theta}$: Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura θ °C (Ω /km).

R'_{20} : Resistencia del conductor con corriente continua a la temperatura de 20 °C (Ω /km).

α_{20} : Coeficiente de variación de la resistividad a 20 °C en función de la temperatura. Esta variable adopta un valor de:

- 0,00393 para conductores de cobre suave para acometidas
- 0,00403 para conductores de aluminio de acometidas
- 0.00347 para conductores trenzados de aluminio 6201-T81 IACS 52.5%

θ : Temperatura de servicio del conductor (°C).

Para los cálculos del presente Proyecto Tipo despreciamos el efecto pelicular, y por lo tanto, suponemos equivalentes los valores de resistencia del conductor con corriente continua y con corriente alterna.

En la Tabla B1. se presenta los valores de resistencia para los distintos conductores normalizados.

Tabla B1.1- Resistencia de conductores Normalizados

Conductor	R'20 (Ω /km)	R'60(Ω /km)	R'90 (Ω /km)
Cu #8 AWG	2,10	2,43	2,68
Cu #6 AWG	1,32	1,53	1,68
Cu #4 AWG	0,83	0,96	1,06
Al #6 AWG	2,16	2,51	2,77
Al #4 AWG	1,36	1,58	1,75
Al #2 AWG	0,85	0,99	1,09
AAC #2 AWG	0,86	0,97	1,06
AAC 1/0 AWG	0,54	0,61	0,67
AAC 4/0 AWG	0,27	0,31	0,33

En los conductores concéntricos de cobre y aluminio se toma la resistencia del neutro igual a la de las fases, por ser los valores muy parecidos.

B1.2 REACTANCIA INDUCTIVA

La reactancia X del conductor varía con el diámetro y la separación de los conductores.

En el caso de los conductores trenzados en haz se adopta el valor de $X = 0,1 \Omega/\text{km}$, que se puede introducir en los cálculos sin error apreciable.

Este valor también se puede emplear para los cálculos relativos a los conductores concéntricos de cobre y aluminio debido a que en éstos el valor real de la reactancia será incluso menor.

B1.3 INTENSIDAD MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO

Es la intensidad que no provoca ninguna disminución de las características mecánicas de los conductores, incluso después de un número elevado de cortocircuitos. Se calcula admitiendo que el calentamiento de los conductores se realiza mediante un proceso adiabático (a calor constante).

La intensidad máxima de cortocircuito para un conductor de sección S, viene dada por:

$$I_{CC} = K \cdot S \cdot \sqrt{\frac{1}{t}}$$

Donde:

lcc: Intensidad máxima de cortocircuito (A).

K: Coeficiente que depende de la naturaleza del conductor, del aislamiento y de sus temperaturas al principio y al final del cortocircuito. En este caso se toman como valores 143 para el cobre y 93 para el aluminio.

S: Sección del conductor (mm²).

t: Tiempo de duración del cortocircuito (s).

B1.4 CONSTANTE DE REGULACION.

Podemos expresar la caída de tensión en una **línea trifásica como:**

Con:

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

$$I = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

Reemplazando:

$$\Delta U = \frac{1000 \cdot P \cdot Z \cdot L}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot P \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \operatorname{sen} \varphi) \cdot L}{U \cdot \cos \varphi}$$

Siendo:

- ΔU : Caída de tensión compuesta (V).
- I: Intensidad (A).
- Z: Impedancia por fase y por kilómetro de línea (Ω/Km).
- L: Longitud del tramo de línea (km).
- P: Potencia trifásica consumida al final de la línea (kW).
- U: Tensión entre fases en el punto receptor de la línea (V).
- φ : Ángulo de fase ($^\circ$).
- R: Resistencia de la línea por fase y por kilómetro (Ω / km).
- X: Reactancia de la línea por fase y por kilómetro (Ω / km).

Se simplifica la expresión anterior definiendo la siguiente variable:

$$\Psi = R + X \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Por lo tanto, la expresión resultante será la siguiente:

$$\Delta U = \frac{1000 \cdot P \cdot \Psi \cdot L}{U}$$

Finalmente se calcula la caída de tensión en porcentaje:

$$\% \Delta V = \frac{1000 \cdot P \cdot L \cdot \Psi}{U^2} \cdot 100$$

Al producto P.L se le denomina momento eléctrico de la carga P, situada a la distancia L del origen.

Se define la constante de regulación para líneas trifásicas como:

$$K_{v3} = \frac{\Psi \cdot 1000}{U^2} \cdot 100$$

Para una **línea bifásica** la caída de tensión se obtendrá mediante la siguiente expresión:

Con:

$$\Delta U = I \cdot (Z_f + Z_n) \cdot L$$

$$I = \frac{1000 \cdot P}{U \cdot \cos\varphi}$$

Reemplazando:

$$\Delta U = \frac{1000 \cdot P \cdot (Z_f + Z_n) \cdot L}{U \cdot \cos\varphi}$$

$$\Delta U = \frac{1000 \cdot P \cdot ((R_f + R_n) \cdot \cos\varphi + 2 \cdot X \cdot \text{sen}\varphi) \cdot L}{U \cdot \cos\varphi}$$

Siendo:

- ΔU : Caída de tensión compuesta (V).
- I: Intensidad (A).
- Z_f: Impedancia del conductor de fase por kilómetro de línea (Ω/km).
- Z_n: Impedancia del conductor neutro por kilómetro de línea (Ω/km).
- L: Longitud del tramo de línea (km).
- P: Potencia bifásica consumida la final de la línea (kW).
- U: Tensión entre fases en el punto receptor de la línea (kV).
- φ: Ángulo de fase (°).
- R_f: Resistencia del conductor de fase por kilómetro de línea (Ω/km).
- R_n: Resistencia del conductor neutro por kilómetro de línea (Ω/km).
- X: Reactancia de la línea por fase y por kilómetro (Ω/km).

Se simplifica la expresión anterior definiendo la siguiente variable:

$$\Psi = ((R_f + R_n) + (2 \cdot X \cdot \text{tg}\varphi))$$

Por lo tanto, la expresión resultante será la siguiente:

$$\Delta U = \frac{1000 \cdot P \cdot L \cdot \Psi}{U}$$

Finalmente se calcula la caída de tensión en porcentaje:

$$\% \Delta V = \frac{1000 \cdot P \cdot L \cdot \Psi}{U^2} \cdot 100$$

Se define la constante de regulación para líneas bifásicas como:

$$K_{v2} = \frac{1000 \cdot \Psi}{U^2} \cdot 100$$

En el Anexo A1 se muestran las tablas con las constantes de regulación de tensión para las líneas de B.T. objeto de este proyecto.

B1.5 PÉRDIDAS DE POTENCIA

B1.5.1 Cálculo.

Las pérdidas de potencia en una línea serán las debidas al efecto Joule causado por la resistencia de esta.

Para una **línea trifásica** vendrán dadas por la siguiente expresión:

$$P_p = 3 \cdot R_f \cdot L \cdot I^2$$

Con:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

Donde:

R_f : Resistencia del conductor de fase por kilómetro (Ω/km).

L : Longitud de la línea (km).

I : Intensidad de la línea (A).

P_p : Pérdida de potencia (kW)

P : Potencia trifásica transportada por la línea (kW)

U : Tensión compuesta (fase-fase) de la línea (V).

$\cos \varphi$: Factor de potencia de la carga.

El porcentaje de potencia perdida en la línea vendrá dado por el cociente entre la potencia perdida y la potencia transportada:

$$\Delta P (\%) = \frac{P_p}{P} \cdot 100 = \frac{R_f \cdot L \cdot P \cdot 1000}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100 = 1000 \cdot P \cdot L \cdot K_{p3}$$

Con la constante de pérdidas dada por:

$$K_{p3} = \frac{R_f}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100$$

Si realizamos el mismo proceso para el caso de una **línea bifásica** obtenemos los siguientes resultados.

$$P_p = (R_f + R_n) \cdot L \cdot I^2$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{1000 \cdot P}{U \cdot \cos \varphi}$$

Donde:

R_n : Resistencia del conductor neutro por kilómetro (Ω/km).

Operando de la misma manera que para líneas trifásicas

$$\Delta P (\%) = 1000 \cdot P \cdot L \cdot K_{p2}$$

Con la constante de pérdidas dada por:

$$K_{p2} = \frac{(R_f + R_n)}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100$$

En el caso de varias cargas conectadas a diferentes distancias y con el mismo conductor alimentador, se calculará de la siguiente manera:

Para líneas bifásicas:

$$\Delta P (\%) = \frac{(R_f + R_n)}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100 \cdot \sum_i P_i \cdot L_i$$

Para líneas trifásicas:

$$\Delta P (\%) = \frac{R_f}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot 100 \cdot \sum P_i \cdot L_i$$

Siendo:

K_{p2} = Constante de pérdida de potencia para el conductor seleccionado, línea bifásica.

K_{p3} = Constante de pérdida de potencia para el conductor seleccionado, línea trifásica.

P_i = Potencia transportada por la línea hasta el punto i. (kW)

L_i = Distancia del origen al punto i. (km)

En el Apartado B1.5.2 se muestran las tablas con las constantes de pérdida de potencia para las líneas de B.T. objeto de este proyecto.

B1.5.2 Tablas de Constante de Pérdidas de Potencia para Líneas Trifásicas y Bifásicas

Nota General: En la realización de estas tablas se ha utilizado el valor de la resistencia del conductor a 90°C.

Tabla B1.2 – Conductores de Acometida

CONDUCTOR CONCÉNTRICO	TENSIÓN (V)	CONSTANTE DE PÉRDIDAS DE POTENCIA PARA ACOMETIDAS (%) - 90 °C		
		FP = 0,9		
Cu	Circuito monofásico (Kp2)			
	2x#8 AWG	120	0,0459141	
	3x#8 AWG		0,0114785	
	2x#6 AWG	120	0,0288603	
	3x#6 AWG		0,0072151	
	3x#4 AWG	120	0,0181470	
		240	0,0045367	
	Circuito trifásico (Kp3)			
	4x#6 AWG	208	0,0048029	
		240	0,0036075	
	4x#4 AWG	208	0,0030200	
		240	0,0022684	
Al	Circuito monofásico (Kp2)			
	2x#6 AWG	120	0,0474852	
	3x#6 AWG		0,0118713	
	2x#4 AWG	120	0,0299706	
	3x#4 AWG		0,0074927	
	3x#2 AWG	120	0,0186863	
		240	0,0046716	
	Circuito trifásico (Kp3)			
	4x#4 AWG	208	0,0049877	
		240	0,0037463	
	4x#2 AWG	208	0,0031098	
		240	0,0023358	

Tabla B1.3– Conductores de Línea

CONDUCTOR	TENSIÓN (V)	CONSTANTE DE PÉRDIDAS DE POTENCIA PARA LÍNEAS AÉREAS B.T. (%) - 90 °C		
		FP = 0,9		
AI	Línea monofásica (Kp2)			
	Triplex #2 AWG	240		0,0045714
	Triplex 1/0 AWG			0,0028736
	Triplex 4/0 AWG			0,0014359
	Línea trifásica (Kp3)			
	Cuádruplex 1/0 AWG	208		0,0019106
		240		0,0014351
	Cuádruplex 4/0 AWG	208		0,0009541
		240		0,0007166

B1.6 POTENCIA A TRANSPORTAR

B1.6.1 Cálculo

La potencia máxima que puede transportar la línea vendrá limitada por la intensidad máxima admisible del conductor y por la caída de tensión máxima permitida.

a) Máxima potencia de transporte limitada por la intensidad máxima admisible.

Para una línea trifásica:

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{max} \cdot \cos\varphi_m$$

Para una línea bifásica:

$$P_{max} = U \cdot I_{max} \cdot \cos\varphi_m$$

Siendo:

P_{max} : Potencia máxima que puede transportar la línea (kW).

U: Tensión nominal fase-fase (kV).

I_{max} : Intensidad máxima admisible del conductor (A).

$\cos\varphi_m$: Factor de potencia medio de las cargas receptoras.

Hay que tener en cuenta que el punto crítico de la línea es el tramo situado antes de la primera carga, ya que después de esta, la intensidad que circulará por la línea siempre será menor. En el caso de ramificaciones sucederá lo mismo, el punto más crítico estará al inicio de la ramificación.

b) Máxima potencia de transporte limitada por la caída de tensión.

$$P = \frac{\Delta U \% \text{máx}}{Kv \cdot L}$$

Siendo:

P: Potencia máxima que puede transportar la línea (kW).

L: Longitud del tramo de línea (km).

$\Delta U \% \text{máx}$: Caída de tensión máxima admisible. Según Apartado 6.3 del documento memoria, toma los siguientes valores:

Para área urbana = 3%

Para área rural = 5%

Para acometidas la caída de tensión máxima admisible está definida en la norma de acometidas y medidas de AIR-E S.A.S. ESP.

B1.6.2 Tablas de potencia máxima limitada por capacidad de conductor

**Tabla B1.4 - Potencia máxima limitada por intensidad máxima (kW)
Conductores de línea**

CONDUCTOR		TENSIÓN (V)	I _{max} (A)	POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR (kW)
				FP = 0,9
AI	Circuito monofásico			
	Triplex #2 AWG	240	150	32,40
	Triplex 1/0 AWG		205	44,28
	Triplex 4/0 AWG		300	64,80
	Circuito trifásico			
	Cuádruplex 1/0 AWG	208	180	58,36
		240	180	67,34
	Cuádruplex 4/0 AWG	208	275	89,17
		240	275	102,88

Tabla B1.5 - Potencia máxima limitada por intensidad máxima (kW) Conductores de acometida

CONDUCTOR CONCÉNTRICO		TENSIÓN (V)	I _{max} (A)	POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR (kW)
				FP = 0,9
Cu	Circuito monofásico			
	2x#8 AWG	120	55	5,94
	3x#8 AWG		55	5,94
		240	55	11,88
	2x#6 AWG	120	75	8,10
	3x#6 AWG		75	8,10
		240	75	16,20
	3x#4 AWG	120	95	10,26
		240	95	20,52
	Circuito trifásico			
	4x#6 AWG	208	75	14,04
		240	75	16,20
4x#4 AWG	208	95	17,78	
	240	95	20,52	
Al	Circuito monofásico			
	2x#6 AWG	120	60	6,48
	3x#6 AWG		60	6,48
		240	60	12,96
	2x#4 AWG	120	75	8,10
	3x#4 AWG		75	8,10
		240	75	16,20
	3x#2 AWG	120	100	10,80
		240	100	21,60
	Circuito trifásico			
	4x#4 AWG	208	75	14,04
		240	75	16,20
4x#2 AWG	208	100	18,72	
	240	100	21,60	

B1.6.3 Tablas de potencia máxima limitada por caída de tensión

**Tabla B1.6 - Potencia máxima limitada por caída de tensión (kW)
Conductores de línea**

CONDUCTOR	TENSIÓN (V)	Kv	POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR (kW)	
			FP = 0,9	
ÁREA RURAL ($\Delta V_{m\acute{a}x} = 5\%$)				
AI	Línea Bifásica (Kv2)			
	Triplex #2 AWG	240	3,870973648	
	Triplex 1/0 AWG		2,495799741	
	Triplex 4/0 AWG		1,331228335	
	Línea Trifásica (Kv3)			
	Cuádruplex 1/0 AWG	208	1,659537815	3,013 / L
		240	1,246497293	4,011 / L
	Cuádruplex 4/0 AWG	208	0,884736295	5,651 / L
		240	0,664535261	7,524 / L
ÁREA URBANA ($\Delta V_{m\acute{a}x} = 3\%$)				
AI	Línea Bifásica (Kv2)			
	Triplex #2 AWG	240	3,870973648	
	Triplex 1/0 AWG		2,495799741	
	Triplex 4/0 AWG		1,331228335	
	Línea Trifásica (Kv3)			
	Cuádruplex 1/0 AWG	208	1,659537815	1,808 / L
		240	1,246497293	2,407 / L
	Cuádruplex 4/0 AWG	208	0,884736295	3,391 / L
		240	0,664535261	4,514 / L

L = Longitud de la línea (km)

**Tabla B1.7 - Potencia máxima limitada por caída de tensión (kW)
Conductores de Acometida**

CONDUCTOR CONCÉNTRICO	TENSIÓN (V)	Kv	POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR (kW)	
			FP = 0,9	
Circuito monofásico				
Cu	2x#8 AWG	120	37,86308626	0,026 / L
	3x#8 AWG		37,86308626	0,026 / L
	2x#6 AWG	120	24,04950292	0,042 / L
			24,04950292	0,042 / L
	3x#6 AWG	240	5,928292032	0,169 / L
			15,37173903	0,065 / L
	3x#4 AWG	240	3,842934759	0,26 / L
			Circuito trifásico	
	4x#6 AWG	208	4,002321123	0,25 / L
			3,006187865	0,333 / L
240		2,558166629	0,391 / L	
		1,921467379	0,52 / L	
Al	Circuito monofásico			
	2x#6 AWG	120	39,13566959	0,026 / L
	3x#6 AWG		39,13566959	0,026 / L
	2x#4 AWG	120	9,783917398	0,102 / L
			24,94887695	0,04 / L
	3x#4 AWG	240	24,94887695	0,04 / L
			6,237219238	0,16 / L
	3x#2 AWG	240	15,80857237	0,063 / L
			3,952143092	0,253 / L
	Circuito trifásico			
4x#4 AWG	208	4,151995055	0,241 / L	
		3,118609619	0,321 / L	
	240	2,630864484	0,38 / L	
		1,976071546	0,506 / L	

L = Longitud de la acometida (km)
Se considera 1% como máximo porcentaje de caída de tensión

Control de cambios

Edición	Fecha de aprobación	Motivo de la edición y/o resumen de cambios
01	07/01/2022	Documento de primera edición que reemplaza el proyecto tipo relacionado a líneas eléctricas trenzadas de baja tensión. de fecha 3 de noviembre del 2020. En relación con este; se realizan los siguientes ajustes: <ul style="list-style-type: none">• Se organiza el documento acorde a la nueva codificación