

Criterios de cálculo de la sección de un conductor

Juan Alvaro Fuentes Moreno
juanalvaro.fuentes@upct.es

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Politécnica de Cartagena

enero 2012

Índice

- 1** Introducción
- 2 Criterio del calentamiento
- 3 Criterio de la caída de tensión
- 4 Criterio de corrientes de cortocircuito
- 5 Criterio rendimiento

■ Cálculo de la sección de un conductor

- Consiste en obtener la *mínima sección normalizada* que cumple *de forma simultánea* con una serie de restricciones ⇒ Criterios

■ Criterios

■ Calentamiento

- Protección: La densidad de corriente debe ser menor de un valor límite

■ Caída de tensión

- Calidad: La tensión en las cargas debe ser la adecuada para el uso esperado de ellas

■ Corrientes de cortocircuito

■ Protección

- La densidad de corriente debe ser menor de un valor límite que depende de Δt_{cc} , tiempo de duración del cortocircuito
- Debe soportar sin romperse los esfuerzos electrodinámicos durante el corto

■ Rendimiento

- Se debe conseguir un rendimiento dado

Índice

- 1 Introducción
- 2 Criterio del calentamiento**
- 3 Criterio de la caída de tensión
- 4 Criterio de corrientes de cortocircuito
- 5 Criterio rendimiento

- Objetivo
 - Limitar la temperatura en régimen permanente para evitar daños en líneas y cables
 - \Downarrow carga de rotura en las líneas
 - Afecta a los dieléctricos en los cables
- La sección se obtiene del estudio del problema de transferencia térmica en función:
 - Material conductor
 - Composición
 - Utilización
 - Instalación
- Su cálculo riguroso es complejo \Rightarrow Uso de tablas

■ Para líneas aéreas con conductores desnudos y alta tensión

Tabla 11. Densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente

Sección nominal mm ²	Densidad de corriente A/mm ²		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75		
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

■ Para cables de aluminio-acero y aleación aluminio-acero

■ $J_{max} = J_{tabla} \cdot coeficiente_reductor$

- Usar la columna correspondiente al material conductor: aluminio/aleación aluminio
- El coeficiente reductor es función de su composición
 - $30 + 7 \Rightarrow 0.916$
 - $6 + 1$ y $26 + 7 \Rightarrow 0.937$
 - $54 + 7 \Rightarrow 0.95$
 - $45 + 7 \Rightarrow 0.97$

■ Para líneas subterráneas con cables aislados (AT: $U < 18/30$ kV)

■ La tablas para el cálculo de la sección son función de:

■ Tipo de aislamiento

Tabla 5. Cables aislados con aislamiento seco
Temperatura máxima, en °C, asignada al conductor

Tipo de aislamiento seco	Condiciones	
	Servicio Permanente θ_s	Cortocircuito θ_{cc} ($t \leq 5$ s)
Policloruro de vinilo (PVC)* $S \leq 300$ mm ² $S > 300$ mm ²	70 70	160 140
Polietileno reticulado (XLPE)	90	250
Etileno - Propileno (EPR)	90	250
Etileno - Propileno de alto módulo (HEPR)	105 para $U_0/U \leq 18/30$ kV 90 para $U_0/U > 18/30$ kV	250

* Solo para instalaciones de tensión asignada hasta 6 kV.

■ Tipo de instalación. Por ejemplo: directamente enterrados a 1m ...

Tabla 6. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna.
Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV directamente enterrados

Sección (mm ²)	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	125	96	130	100	135	105
35	145	115	155	120	160	125
50	175	135	180	140	190	145
70	215	165	225	170	235	180
95	255	200	265	205	280	215
120	290	225	300	235	320	245
150	325	255	340	260	360	275
185	370	285	380	295	405	315
240	425	335	440	345	470	365
300	480	375	490	390	530	410
400	540	430	560	445	600	470

Índice

- 1 Introducción
- 2 Criterio del calentamiento
- 3 Criterio de la caída de tensión**
- 4 Criterio de corrientes de cortocircuito
- 5 Criterio rendimiento

Criterio de la caída de tensión, (ΔV)

■ Objetivo: Calidad de suministro

- Motores asíncronos \Rightarrow Par de arranque = $f(V^2)$
- Transformadores \Rightarrow Potencia decrece proporcionalmente con la tensión
- Iluminación
- ...

■ Límites

- Artículo 104 del RD 1955/2000 dice:

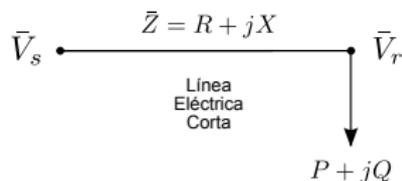
Los límites máximos de variación de la tensión de alimentación a los consumidores finales serán de ± 7 por 100 de la tensión de alimentación declarada.

- En baja tensión, según ITC-BT-11, este límite se debe cumplir en la Caja General de Protección
- A partir ahí se admiten otras caídas de tensión
 - Desde la Caja General de Protección hasta el interior de la vivienda/local: 1.5 % (ITC-BT-14+ITC-BT-15)
 - En el interior de la viviendas: 3 % (ITC-BT-19)
 - En el interior del local (industria/comercio): Alumbrado 3 % y resto de usos 5 % (ITC-BT-19)
 - Si la alimentación es directa desde el centro de transformación (CT): Alumbrado 4.5 % y resto de usos 6.5 % (ITC-BT-19)

Criterio de la caída de tensión (II)

- Para líneas de longitud corta y conductor uniforme a lo largo de su longitud

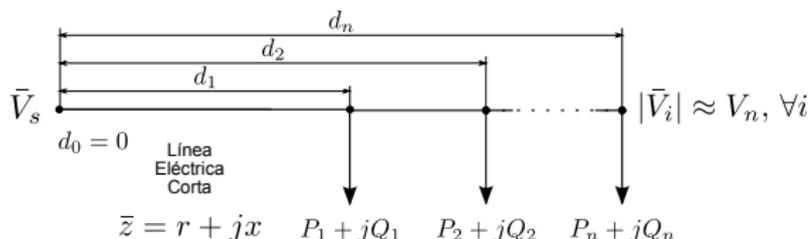
- Carga concentrada: $\Delta V = R(S) \frac{P}{V_r} + X(S) \frac{Q}{V_r}$



- Datos: $V_{nominal}$, ΔV , P y Q

- Incógnitas: $S \Rightarrow 1$ ecuación y 1 incógnita que se resuelve en general de forma iterativa

- Carga distribuida en múltiples derivaciones: $\Delta V = \sum_{i=1}^n \left[r(S) d_i \frac{P_i}{V_n} + x(S) d_i \frac{Q_i}{V_n} \right]$



- Datos: $V_{nominal}$, ΔV , P_i , Q_i y d_i , distancia de la derivación i al origen

- Incógnitas: $S \Rightarrow 1$ ecuación y 1 incógnita que se resuelve en general de forma iterativa

Índice

- 1 Introducción
- 2 Criterio del calentamiento
- 3 Criterio de la caída de tensión
- 4 Criterio de corrientes de cortocircuito**
- 5 Criterio rendimiento

■ Objetivo

- Limitar la temperatura en régimen transitorio para evitar daños en líneas y cables
- La sección se obtiene igualando la energía disipada en el conductor durante el corto con la que es capaz de almacenar sin que su temperatura supere la máxima permitida
 - Suponiendo un calentamiento adiabático

$$\int_{t_i}^{t_f} \rho \frac{L}{S} i_{cc}^2 dt = \int_{\theta_i}^{\theta_f} C_c \cdot S \cdot L d\theta \quad \left\{ \begin{array}{l} t_i, t_f = \text{Tiempo inicial y final del corto} \\ \rho = \text{Resistividad del material conductor} \\ L = \text{Longitud del conductor} \\ S = \text{Sección del conductor} \\ i_{cc} = \text{Intensidad instantánea durante el corto} \\ \theta_i, \theta_f = \text{Temperaturas inicial y final del conductor} \\ C_c = \text{Capacidad calorífica del conductor} \end{array} \right.$$

- Dicha ecuación para el caso mas desfavorable se puede expresar como

$$\int_{t_i}^{t_f} i_{cc}^2 dt = K^2 \cdot S^2 \quad (\text{siendo } K \text{ función del conductor y del aislante})$$

■ En la práctica

- Se supone que $i_{cc}(t) = I_{cc}, \forall t \Rightarrow$
 - $I_{cc}^2 \Delta t_{cc} = K^2 \cdot S^2$. Donde I_{cc} es el valor eficaz de la intensidad y $\Delta t_{cc} = t_f - t_i$
 - Se añaden factores de corrección para tener en cuenta que el calentamiento no es adiabático
 - Se usan tablas

Índice

- 1 Introducción
- 2 Criterio del calentamiento
- 3 Criterio de la caída de tensión
- 4 Criterio de corrientes de cortocircuito
- 5 Criterio rendimiento**

Criterio del rendimiento, (η)

■ Objetivo

- Que el rendimiento en la línea sea el especificado

■ Para líneas de longitud corta y conductor uniforme a lo largo de su longitud

- Pérdidas con carga concentrada:

$$P_{\text{perd}} = 3r(S)LI^2 = \frac{3\rho LI^2}{S} = \frac{k}{S} \Rightarrow S = k \frac{\eta}{(1-\eta)P_r} \left\{ \begin{array}{l} \eta = \text{rendimiento} \\ \rho = \text{resistividad} \\ L = \text{longitud de la línea} \\ k = \text{constante} = 3\rho LI^2 = \frac{\rho LP_r^2}{V_r^2 \cos^2 \varphi} \\ P_r = \text{Potencia activa destino (tri)} \end{array} \right.$$

- Para líneas monofásicas:

$$P_{\text{perd}} = 2r(S)LI^2 \Rightarrow k = 2\rho LI^2$$

- Pérdidas con carga distribuida en múltiples derivaciones

$$P_{\text{perd}} = \sum_{i=1}^n r(S)(d_i - d_{i-1}) \frac{\sum_{j=i}^n S_j^2}{V_n^2} \Rightarrow k = \rho \sum_{i=1}^n (d_i - d_{i-1}) \frac{\sum_{j=i}^n S_j^2}{V_n^2} \left\{ \begin{array}{l} d_i = \text{distancia a } i \\ S_j^2 = P_j^2 + Q_j^2 \\ P_r = \sum_{i=1}^n P_i \text{ (en } S) \end{array} \right.$$

- El criterio dominante depende del caso:
 - *Calentamiento*: Líneas cortas
 - *Caída de tensión*: Líneas largas
 - *Corrientes de cortocircuito*: Conductores de sección pequeña en redes con $S_{cc} \uparrow$
 - *Rendimiento*: Líneas de elevada utilización y con energía cara