

**INSTRUCCIONES:**

- El tiempo total para la resolución del examen es de 2 horas. Se permite el uso de calculadora programable o no programable.
- Entregue la hoja del enunciado marcando con un círculo la respuesta correcta. Cada respuesta correcta suma 1 punto. Las respuestas erróneas o en blanco no puntúan.
- En las preguntas cuya solución sea numérica, se detallarán los cálculos que justifican la respuesta. En caso de que la justificación no sea correcta se puntuará como cero. Se escogerá como respuesta la opción con el valor más aproximado al obtenido por el alumno. Utilizar hojas en blanco o el reverso de los enunciados para las justificaciones.
- Rellene todos sus datos, con el DNI.

1. La tabla de carga de un cable con aislamiento de XLPE para condiciones de instalación al aire a 40°C indica que su intensidad máxima admisible es de 400 A. Calcular la intensidad máxima admisible si se instala sometido a una temperatura del aire ambiente de 30°C, pero limitando la temperatura del aislamiento a un máximo de 80°C.
- a) **400 A**
  - b) 380 A
  - c) 360 A
  - d) 330 A
  - e) 310 A

Solución:

Para calcular la intensidad máxima admisible para una temperatura ambiente distinta de 40°C y para una temperatura del aislamiento distinta del valor máximo admisible del XLPE (90°C) se utiliza la ecuación de equilibrio térmico del cable

$$\Delta\theta = T \cdot W_c$$

$$\Delta\theta = T \cdot R I^2$$

Donde, T, es la resistencia térmica del conductor, R es su resistencia eléctrica y  $\Delta\theta$  es el salto térmico o diferencia de temperaturas entre el conductor (que se calienta por efecto Joule) y el medio ambiente.

Por tanto:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\theta}{R \cdot T}}$$

Si se comparan dos situaciones con diferentes saltos térmicos:

$$\Delta\theta_1 = (90 - 40) \text{ °C} = 50\text{°C}$$

$$\Delta\theta_2 = (80 - 30) \text{ °C} = 50\text{°C}$$

$$\text{Se puede calcular que: } I_2 = I_1 \sqrt{\frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1}} = I_1 \sqrt{\frac{50}{50}} = I_1 = 400 \text{ A}$$

2. Un cable tripolar de baja tensión subterráneo con aislamiento de PVC tiene una constante de tiempo,  $\tau$ , de 25 minutos. En las condiciones tipo de instalación (para una temperatura del terreno de 25°C) el cable puede soportar una intensidad  $I_{m\acute{a}x}$  en servicio permanente. Calcular cual será la carga admisible en el cable para una conexión única de 10 minutos si no se desea sobrepasar la temperatura máxima admisible del aislamiento.

- a) 1,05  $I_{m\acute{a}x}$
- b) 1,25  $I_{m\acute{a}x}$
- c) 1,55  $I_{m\acute{a}x}$
- d) 1,75  $I_{m\acute{a}x}$**
- e) 2,00  $I_{m\acute{a}x}$
- f) 1,00  $I_{m\acute{a}x}$

Solución :

El factor de carga admisible (N) para un servicio del cable de corta duración (de 10 minutos, frente a una constante de tiempo de 25 minutos) para no sobrepasar la temperatura máxima admisible del aislamiento viene dado por:

$$N = \frac{I}{\sqrt{1 - e^{-\frac{t}{\tau}}}} = \frac{I}{\sqrt{1 - e^{-\frac{10}{25}}}} = 1,74$$

3. Un conductor de cobre de 50 mm<sup>2</sup>, aislado con XLPE, está trabajando en régimen permanente cargado con la intensidad máxima admisible que lleva al aislamiento a 90°C. El valor de la constante K para régimen de cortocircuito para un conductor de cobre aislado con XLPE es  $K=142 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2}$ . Para un cortocircuito de duración de 0,5 segundos determinar cual será la intensidad máxima de cortocircuito admisible, con objeto de no sobrepasar una temperatura final en el cable superior a 250°C.

- a) 4 kA
- b) 6 kA
- c) 8 kA
- d) 10 kA**
- e) 12 kA

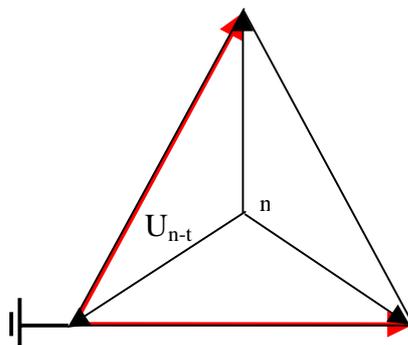
Solución:

$$\frac{I_{cc}}{S} \sqrt{t_{cc}} = K \Rightarrow I_{cc} = K \cdot \frac{S}{\sqrt{t_{cc}}} = 142 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{1/2} \frac{50\text{mm}^2}{\sqrt{0,5}\cdot\text{s}^{1/2}} = 10041 \text{ A}$$

4. En una red de alta tensión de 20 kV de tensión entre fases y con neutro completamente aislado de tierra, se produce un cortocircuito monofásico a tierra en la fase R. Determinar cual será después del defecto la tensión entre el punto neutro del transformador y tierra.

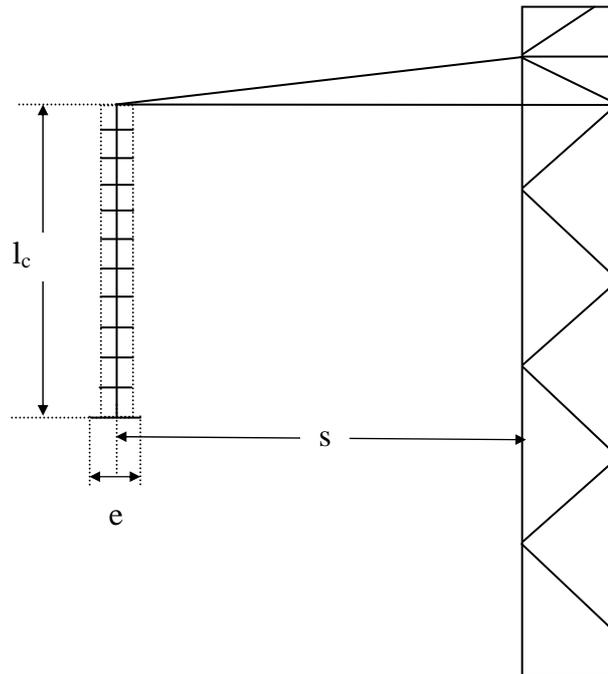
- a) 3,85 kV
- b) 6,66 kV
- c) 10,0 kV
- d) 11,54 kV**
- e) 20 kV

Como el neutro está completamente aislado de tierra, la fase averiada en contacto con tierra adquiere el potencial de tierra. El neutro del transformador adquiere un potencial de  $U/\sqrt{3}$  respecto de tierra (es decir 11,54 kV), mientras que las fases sanas quedan al potencial  $U$  respecto de tierra (es decir 20 kV). Todo ello se puede apreciar en la siguiente figura.



5. Se está proyectando una línea aérea de 132 kV de tensión nominal en zona B, y se quiere comprobar si la desviación por efecto del viento de una cadena de aisladores de suspensión, permite satisfacer la distancia de seguridad reglamentaria entre conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos.

La parte de interés de la armadura del apoyo se describe en la figura. La grapa de suspensión tiene una dimensión de  $e = 0,4$  m, la longitud de la cadena  $l_c = 1,85$  m, y la separación al poste es de  $s = 2,5$  m.



Se emplea un conductor dúplex formado por dos cables de aluminio-acero, separados 40 cm tipo LA 180, cuyo diámetro es de 17,5 mm, y peso por unidad de longitud,  $p = 0,676 \text{ kg/m}$ . La tensión horizontal correspondiente a unas condiciones de  $-5^\circ \text{ C}$ , con la mitad del viento reglamentario, es según la tabla de tendido de 850 kg.

El apoyo dispone por fase de una cadena con 9 aisladores. Cada unidad tiene 25,4 cm de diámetro y pesa 4 kg. Los herrajes tienen un peso de 60 kg que se supondrá concentrado en el extremo de la cadena donde se encuentra en conductor. Según el reglamento la presión del viento sobre la cadena será el valor mitad correspondiente a una presión de  $70 \text{ kg/m}^2$  considerando el aislador como una superficie cilíndrica.

Mediante el cálculo de la distancia de seguridad reglamentaria entre los conductores y otras partes en tensión (grapa de suspensión) con el apoyo, obtener el ángulo límite de inclinación de la cadena a partir del cual será necesario el uso de un contrapeso.

- a)  $45^\circ$
- b)  $48^\circ$
- c)  $51^\circ$
- d)  $55^\circ$
- e)  $58^\circ$
- f)  $61^\circ$

Si el apoyo con la cadena de aisladores de suspensión está situado entre dos vanos contiguos de 300 m de longitud y más bajo que los apoyos situados a izquierda y derecha, formando ángulos de  $-10^\circ$  en ambos casos, calcular el ángulo de desviación real de la cadena de aisladores respecto de la vertical.

- a) 45°
- b) 48°
- c) 51°
- d) **55°**
- e) 58°
- f) 61°

Calcular en estas condiciones la distancia a la que se aproximará el conductor o las grapas en tensión al apoyo.

- a) 0,99 m
- b) 0,91 m
- c) 0,86 m
- d) 0,82 m
- e) **0,77 m**
- f) 0,69 m

Determinar si es necesario instalar un contrapeso y en caso afirmativo su peso,

- a) no es necesario contrapeso
- b) **contrapeso de 80 kg**
- c) contrapeso de 120 kg
- d) contrapeso de 160 kg
- e) contrapeso de 200 kg
- f) contrapeso de 240 kg

Solución.

Distancia de seguridad reglamentaria.

$$D_s = 0,1 + \frac{U}{150} = 0,1 + \frac{132}{150} = 0,98 \text{ m}$$

Por trigonometría básica a partir de la figura, se puede deducir que el ángulo de inclinación de la cadena  $\gamma$  límite a partir del cual se deja de cumplir la distancia de seguridad al apoyo responde a la siguiente expresión,

$$\gamma_{\text{límite}} = \text{Aseno} \frac{s - \frac{e}{2} - D_s}{l_c} = 45,52^\circ$$

Se puede comprobar como para este ángulo límite se satisface una distancia de seguridad a la cruceta horizontal bastante mayor de 0,98 m.

Se calcula el ángulo de desviación de la cadena con la fórmula siguiente, teniendo en cuenta que:  $n_1 = n_2 = -10^\circ$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,025 n d \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{E_c}{2}}{n p \frac{a_1 + a_2}{2} + T(\operatorname{tg} n_1 + \operatorname{tg} n_2) + \frac{P_c}{2} + P_h}$$

$$E_c (\text{kg/m}) = \frac{70}{2} \cdot l_c \cdot e$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,025 \cdot 2 \cdot 17,5 \frac{300 + 300}{2} + \frac{16,446}{2}}{2 \cdot 0,676 \frac{300 + 300}{2} + 850(-0,176 - 0,176) + \frac{36}{2} + 60} = \frac{270,72}{183,84} = 1,472 \Rightarrow \gamma = 55,82^\circ$$

El ángulo de desviación obtenido es superior al ángulo límite y por lo tanto será necesario utilizar contrapesos con objeto de disminuir dicho ángulo hasta el valor límite.

La distancia de las partes activas al apoyo se calcularán como:

$$D = s - l_c \cdot \operatorname{sen} \gamma - \frac{e}{2} = 2,5 - 1,85 \cdot \operatorname{sen}(55,82^\circ) - 0,2 = 0,769 \text{ m}$$

Para calcular el valor del contrapeso G(kg), se parte de la ecuación siguiente, utilizando el ángulo límite,  $\gamma_{\text{límite}}$ , calculado anteriormente, y considerando que N y D representan respectivamente el numerador y denominador de la ecuación anterior que nos condujo a calcular ángulo de  $\gamma_{\text{límite}}$ .

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{límite}} = \frac{N}{D + G} \Rightarrow G = \frac{N - D \operatorname{tg} \gamma_{\text{límite}}}{\operatorname{tg} \gamma_{\text{límite}}} = \frac{270,72 - 183,84 \cdot 1,0183}{1,0183} = 82 \text{ kg}$$

Por lo tanto habría que instalar un contrapeso de 82 kg colgando junto a la cadena de suspensión.

6. Los cables unipolares de una terna de media tensión están dispuestos en triángulo, y tienen conectadas las pantallas a tierra en sus dos extremos. La resistencia del cable por unidad de longitud es R, la resistencia de la pantalla por unidad de longitud es Rs, la reactancia inductiva mutua entre cada pantalla y su conductor interno es Xm, la reactancia inductiva propia de cada pantalla es Xs, la intensidad que pasa por cada fase es I, y la que circula por cada pantalla es Is. Justificar la expresión de las pérdidas de potencia activa, en cada cable por unidad de longitud en régimen equilibrado de corrientes de fase, debido a la suma de los efectos Joule y de

corrientes de circulación, considerando que  $X_s = X_m$  y que son despreciables las inductancias mutuas entre la pantalla de un cable y los otros dos conductores de fase.

- a)  $P = (R + R_s)I^2$
- b)  $P = (R + R_s)I_s^2$
- c)  $P = \left( R + R_s \frac{X_m^2}{X_m^2 + R_s^2} \right) I^2$
- d)  $P = \left( R + R_s \frac{R_s^2}{X_m^2 + R_s^2} \right) I^2$
- e)  $P = \left( R + R_s \frac{X_m^2 + R_s^2}{R_s^2} \right) I^2$

**Solución:**

La pérdida de potencia por efecto Joule por cable

$$P = RI^2$$

Pérdida de potencia en la pantalla de cada cable:

$$P_s = R_s \cdot I_s^2$$

Por otra parte:

$$|I_s| = \frac{E_{inducida}}{Z_s} = \frac{X_m \cdot I}{\sqrt{X_s^2 + R_s^2}} = \frac{X_m \cdot I}{\sqrt{X_m^2 + R_s^2}} \Rightarrow$$

$$|I_s|^2 = \frac{X_m^2 \cdot I^2}{X_m^2 + R_s^2} \Rightarrow$$

$$P_s = R_s \frac{X_m^2 \cdot I^2}{X_m^2 + R_s^2} \Rightarrow$$

$$P = \left( R + R_s \frac{X_m^2}{X_m^2 + R_s^2} \right) I^2$$

**Solución c)**

7. Indicar la respuesta incorrecta:

- a) El efecto pelicular aumenta su importancia cuando aumenta la sección del conductor.
- b) El efecto pelicular aumenta su importancia cuando aumenta la frecuencia.
- c) El efecto proximidad contribuye a que la resistencia en corriente alterna sea mayor que en corriente continua.
- d) El efecto proximidad no es de gran importancia en cables aislados, al contrario de lo que sucede en líneas aéreas de elevado nivel de tensión.**
- e) Las pérdidas transversales de las líneas se deben al efecto corona y la conductancia del aislamiento.

7. Indicar la respuesta incorrecta:

- a) **La relación entre la resistencia y reactancia de una línea es mucho menor en baja tensión que en redes de media o alta tensión.**
- b) La capacidad fase-neutro de una línea de alta tensión con cables aislados es mayor que para una línea aérea con conductores desnudos.
- c) La conductancia paralelo de una línea suele ser tan pequeñas que se desprecia en la mayoría de los cálculos.
- d) En el cálculo de caídas de tensión en instalaciones de baja tensión se puede despreciar la reactancia inductiva, frente al valor de la resistencia, excepto para grandes secciones.

FORMULARIO:

1. Utilizando las ecuaciones de la catenaria.

$$y = c \operatorname{Ch} \frac{x}{c} \quad ; c = \frac{T}{p}; T' = py; T' - T = pd \qquad Cx = c \operatorname{Sh} \frac{x}{c}$$

X = abscisa del punto medio de un vano

$$X = c \ln \left( z + \sqrt{z^2 + 1} \right) \quad ; z = \frac{h}{2c \operatorname{Sh} \frac{a}{2c}} \quad ; h = y_2 - y_1; x_1 = X - \frac{a}{2} \quad ; x_2 = X + \frac{a}{2}$$

$$L = c \left( \operatorname{Sh} \frac{x_2}{c} - \operatorname{Sh} \frac{x_1}{c} \right)$$

Cambio de condiciones con un vano único:  $L - L_0 = \delta(t - t_0)L_0 + \frac{T - T_0}{SE} L_0 \frac{b}{a}$

Con varios vanos entre apoyos anclaje:

$$\delta(t - t_0)L_0 + \frac{T - T_0}{SE} L_0 \frac{b}{a} + L_0 - L = \Delta L \quad ; \sum \Delta L = 0$$

Flecha:  $f = y_2 - \frac{h}{a}(x_2 - x_f) - y_f; x_f = c \ln \left( \frac{h}{a} + \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + 1} \right); y_f = c \operatorname{Ch} \frac{x_f}{c}$

2. Ecuaciones basadas en el método de la parábola:

$$y = \frac{x^2}{2c}; \quad f = \frac{a^2 r}{8T}; \quad L = a + \frac{a^3 r^2}{24T^2}$$

Cambio de condiciones, vano único:

$$T^2(T + A) = B \quad A = \delta(t - t_0)SE - T_0 + \frac{a_0^2 r_0^2}{24 T_0^2} SE; \quad B = \frac{a^2 r^2}{24} SE;$$

Con vano regulador, se sustituirá a por:  $a_r = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}}$

3. Relación entre T y la tensión en el punto más alto de fijación del conductor T<sub>Δ</sub>:

$$T = \frac{T_A - r \frac{h}{2} + \sqrt{\left(T_A - r \frac{h}{2}\right)^2 - \frac{r^2 b^2}{2}}}{2 \frac{b}{a}} \quad \text{En vanos a nivel, } T = \frac{T_A + \sqrt{(T_A)^2 - \frac{r^2 a^2}{2}}}{2}$$

4. Desviación de las cadenas de aisladores, (hipótesis, -5°C + 1/2 Viento).

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,03 n d \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{E_c}{2}}{n p \frac{a_1 + a_2}{2} + T(\operatorname{tg} n_1 + \operatorname{tg} n_2) + \frac{P_c}{2} + P_h + G}; \quad D_s(m) = 0,1 + \frac{U}{150}$$

Nota: sustituir 0,03 por 0,025 si el diámetro del conductor es mayor de 16 mm.

5. Otros datos:

$$\begin{aligned} \rho(\text{Cu, a } 20^\circ\text{C}) &= 17,6 (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km} & \alpha(\text{Cu}) &= 0,0039 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ \rho(\text{Al, a } 20^\circ\text{C}) &= 28,3 (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km} & \alpha(\text{Al}) &= 0,0040 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \\ \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} & \epsilon_0 &= 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \end{aligned}$$

Capacidad cable unipolar aislado,  $C = 2 \pi \epsilon / \ln (R/r)$