

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. Un cable tripolar de baja tensión subterráneo con aislamiento de PVC tiene una constante de tiempo, τ , de 25 minutos. En las condiciones tipo de instalación (para una temperatura del terreno de 25°C) el cable puede soportar una intensidad $I_{\text{máx}}$ en servicio permanente. Calcular cual será la temperatura del cable 25 minutos después de ponerlo en servicio con una carga igual a $I_{\text{máx}}$, si la temperatura del terreno es de 20°C.

- a) 48 °C
- b) 51°C
- c) 54°C
- d) 58°C
- e) 65°C

Solución:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_n \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

donde: $\Delta\theta_n = 70 - 25 = 55^\circ C$

Por tanto:
$$\Delta\theta = 55 \left(1 - e^{-1} \right) = 55 \left(1 - \frac{1}{e} \right) = 28,4^\circ C$$

Finalmente:
$$\theta = \theta_{\text{terreno}} + \Delta\theta = 20 + 28,4 = 48,4^\circ C$$

2. Un cable tripolar de baja tensión subterráneo con aislamiento de PVC tiene una constante de tiempo, τ , de 600 segundos. En las condiciones tipo de instalación (para una temperatura del terreno de 25°C) el cable puede soportar una intensidad $I_{\text{máx}}$ en servicio permanente. Calcular cual será la carga admisible si el cable trabaja en ciclos intermitentes con intervalos de carga de 1 minuto seguidos por intervalos de 10 minutos sin carga alguna, con la condición de no sobrepasar la temperatura máxima admisible del aislamiento.

- a) 1,1 $I_{\text{máx}}$
- b) 1,6 $I_{\text{máx}}$
- c) 2,1 $I_{\text{máx}}$
- d) 2,6 $I_{\text{máx}}$

- e) 3,1 I_{máx}
- f) 3,6 I_{máx}

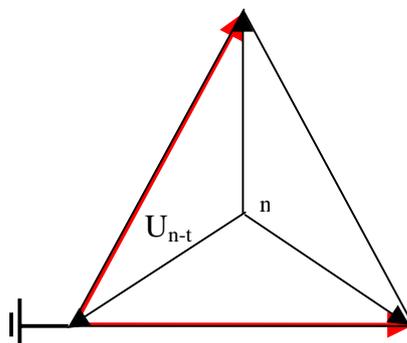
El factor de carga admisible (N) para un servicio intermitente con un tiempo de conexión de $t_1 = 1$ minuto, y un tiempo total de ciclo de $t_2 = 11$ minutos, con objeto de no sobrepasar la temperatura máxima admisible del aislamiento viene dado por:

$$N = \frac{\sqrt{1 - e^{-\frac{t_2}{\tau}}}}{\sqrt{1 - e^{-\frac{t_1}{\tau}}}} = \frac{\sqrt{1 - e^{-\frac{11}{10}}}}{\sqrt{1 - e^{-\frac{1}{10}}}} = 2,65$$

3. 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 durante el defecto la tensión entre la fase S y tierra.
- a) 6,66 kV
 - b) 10,0 kV
 - c) 11,54 kV
 - d) 20 kV**
 - e) 34,64 kV

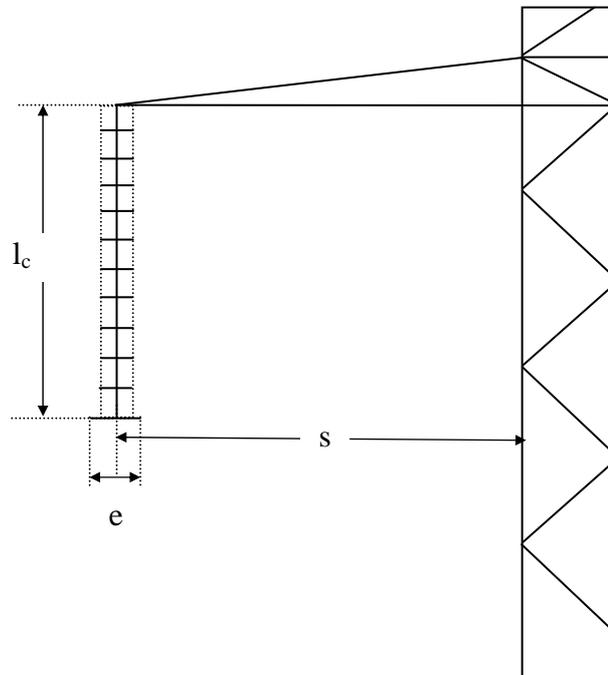
Solución:

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.



4. 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, $p = 0,676$ kg/m. La tensión horizontal correspondiente a unas condiciones de -5° 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 se debe considerar la presión del viento sobre la cadena igual al valor mitad del que ejerce una presión de 70 kg /m² 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°
- b) 48°
- c) 51°
- d) 55°
- e) 58°
- f) 61°

Si el apoyo con la cadena de aisladores de suspensión está situado ente dos vanos contiguos de 400 m de longitud y más alto que los apoyos situados a izquierda y derecha, formando ángulos de +10° y de + 5° a cada lado, calcular el ángulo de desviación real de la cadena de aisladores respecto de la vertical.

- a) **25°**
- b) 30°
- c) 35°
- d) 40°
- e) 45°
- f) 50°

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

- a) 0,80 m
- b) 1,0 m
- c) 1,2 m
- d) 1,4 m
- e) **1,6 m**
- f) 1,8 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 γ límite a partir del cual se deja de cumplir la distancia de seguridad al apoyo responde a la siguiente expresión,

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

Por otra parte 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: $n_1 = +10^\circ$, y $n_2 = +5^\circ$

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

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

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{0,025 \cdot 2 \cdot 17,5 \frac{400 + 400}{2} + \frac{16,446}{2}}{2 \cdot 0,676 \frac{400 + 400}{2} + 850(+0,176 + 0,0875) + \frac{36}{2} + 60} = \frac{358,22}{843,04} = 0,42492 \Rightarrow \gamma = 23,02^\circ$$

El ángulo de desviación obtenido es inferior al ángulo límite y por lo tanto no será necesario utilizar contrapesos.

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

$$D = s - l_c \cdot \operatorname{sen} \gamma - \frac{e}{2} = 2,5 - 1,85 \cdot \operatorname{sen}(23,02^\circ) - 0,2 = 1,576 \text{ m}$$

5. Los cables unipolares de una terna de media tensión de una cierta longitud están dispuestos en triángulo, y tienen conectadas las pantallas a tierra en sus dos extremos. La resistencia del cable es de 1Ω , la resistencia de la pantalla es $0,5\Omega$, la reactancia inductiva mutua entre cada pantalla y su conductor interno es $0,8\Omega$, la reactancia inductiva propia de cada pantalla es también de $0,8\Omega$, la intensidad que pasa por cada fase es 100 A. Considerar que son despreciables las inductancias mutuas entre la pantalla de un cable y los otros dos conductores de fase.

Para un régimen equilibrado de corrientes de fase calcular la corriente que circula por la pantalla de los cables.

- a) 100 A
- b) 95 A
- c) 90 A
- d) 85 A**
- e) 80 A

Para un régimen equilibrado de corrientes de fase calcular las pérdidas de potencia activa, en cada cable, debido a la suma de los efectos Joule y de corrientes de circulación.

- a) 20 kW

- b) 17,5 kW
- c) **13,5 kW**
- d) 10 kW
- e) 7.5 kW

Solución:

$$|I_s| = \frac{E_{inducida}}{Z_s} = \frac{X_m \cdot I}{\sqrt{X_s^2 + R_s^2}} = \frac{0,8 \cdot 100}{\sqrt{(0,8)^2 + (0,5)^2}} = 85 A$$

$$P_s = R_s \cdot I_s^2 = 0,5(85)^2 = 3595W$$

$$P_{conductor} = R \cdot I^2 = 1 \cdot (100)^2 = 10000W$$

$$P = P_s + P_{conductor} = 13595W = 13,6 kW$$

6. 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 = abcisa 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: $f = y_2 - \frac{h}{a}(x_2 - x_f) - y_f$; $x_f = c \ln \left(\frac{h}{a} + \sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + 1} \right)$; $y_f = cCh \frac{x_f}{c}$

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_A :

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

4. Desviación de las cadenas de aisladores, (hipótesis, $-5^\circ\text{C} + 1/2$ Viento).

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

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

5. Otros datos:

$\rho(\text{Cu, a } 20^\circ\text{C}) = 17,6 (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km}$ $\alpha(\text{Cu}) = 0,0039 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 $\rho(\text{Al, a } 20^\circ\text{C}) = 28,3 (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km}$ $\alpha(\text{Al}) = 0,0040 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
 Capacidad cable unipolar aislado, $C = 2 \pi \epsilon / \ln(R/r)$

Factor de sobrecarga para servicios intermitentes: $N = \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t2}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{t1}{\tau}}}}$