

B NOMBRE Y APELLIDOS _____ DNI _____

Fecha: _____

Código asignatura: 525318

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. Indicar en un cable unipolar de alta tensión que parte está sometida a un campo eléctrico mayor y por tanto a una sollicitación dieléctrica más intensa, en condiciones normales de funcionamiento
 - a) En la pantalla del cable
 - b) En el centro del conductor.
 - c) En el contacto del aislamiento del cable con la capa semiconductor externa.
 - d) En el contacto del aislamiento del cable con la capa semiconductor interna.**
 - e) Depende del diseño del cable y no se puede determinar una zona válida para cualquier tipo de cable.
 - f) En la zona de contacto entre la capa semiconductor externa y la pantalla.
 2. Indicar en cuanto a las condiciones de instalación y características de los cables a utilizar en locales con riesgo de incendio o explosión cual de las siguientes no es correcta.
 - a) Los cables serán siempre resistentes al fuego.**
 - b) El tendido más aconsejable de los cables es en el interior de tubos metálicos empotrados, en canaletas rellenas de arena o enterrados con una protección mecánica adecuada.
 - c) Los cables serán siempre no propagadores del incendio.
 - d) No es suficiente con instalar cables no propagadores de la llama, en cuanto a garantizar su resistencia al fuego.
 - e) Se debe evitar un calentamiento excesivo de los cables por sobrecarga ya que puede ser la causa de un incendio o una explosión.
 3. La caída de tensión en una línea depende de varios parámetros. Identificar la respuesta correcta sobre este aspecto.
 - a) La caída de tensión en una línea de distribución en baja tensión depende fundamentalmente de la potencia reactiva que entrega la línea.
 - b) La caída de tensión en una línea de transporte de alta tensión depende casi exclusivamente de la potencia reactiva que se transporta.**
 - c) La caída de tensión en una línea de transporte de alta tensión depende casi exclusivamente de la potencia activa que se transporta
 - d) La caída de tensión en una línea no depende de los flujos de potencia o reactiva que transporta la línea.
 - e) La caída de tensión en cualquier línea depende por igual de la energía activa y reactiva entregada, y esta dependencia no se ve afectada en absoluto por el hecho de que se trate de una línea de transporte o de distribución de energía.

4. Una línea aérea de tensión nominal de 130 kV, y de 100 km de longitud está trazada a lo largo de 70 km por una zona 1, de altitud aproximada de 1200 m, mientras que los 30 km restantes (zona 2) están trazados por una zona de altitud aproximada 400 m. En la zona 1 la temperatura medida es de -5°C y en la zona 2 de $+10^{\circ}\text{C}$.

Si la rigidez dieléctrica del aire en condiciones de referencia de 25°C y 1 atmósfera de presión es de 30 kV/cm, calcular el valor de la rigidez dieléctrica para la zona 1, teniendo en cuenta que la variación de la presión barométrica, h , con la altitud, H , en metros sigue la siguiente evolución:

$$h \text{ (mm Hg)} = 760 \cdot e^{-\frac{H}{8150}}$$

- a) 25,8 kV b) 27,8 kV **c) 28,8 kV** d) 30 kV e) 31,8 kV f) 22 kV

La rigidez dieléctrica del aire es proporcional a densidad relativa del aire. La densidad relativa del aire, δ , respecto de las condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg) se puede calcular según la expresión siguiente, donde θ representa la temperatura ambiente y h representa la presión barométrica en mm de Hg.

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + \theta} \cdot \frac{h}{760}$$

Por tanto para la zona 1, se tiene que $\theta = -5^{\circ}\text{C}$ y $H = 1200$ metros.

Según la fórmula del enunciado:

$$h \text{ (mm Hg)} = 760 \cdot e^{-\frac{H}{8150}} = 760 \cdot e^{-\frac{1200}{8150}} = 656 \text{ mmHg}$$

Por tanto:

$$\delta = \frac{273 + 25}{273 + \theta} \cdot \frac{h}{760} = \frac{273 + 25}{273 - 5} \cdot \frac{656}{760} = \frac{298}{268} \cdot \frac{656}{760} = 0,9587$$

Finalmente la rigidez dieléctrica se obtendrá multiplicando la rigidez dieléctrica en condiciones de referencia por el valor calculado de la densidad relativa:

$$E_c \text{ (zona 1)} = 30 \text{ kV/cm} \cdot 0,9587 = 28,8 \text{ kV/cm}$$

Calcular la rigidez dieléctrica del aire también para la zona 2

- a) 28,5 kV **b) 30,0 kV** c) 31,5 kV d) 33 kV e) 34,5 kV f) 29 kV

Siguiendo el mismo razonamiento se tiene que para la zona 2, $\theta = 10^{\circ}\text{C}$ y $H = 400$ metros.

$$h \text{ (mm Hg)} = 760 \cdot e^{-\frac{H}{8150}} = 760 \cdot e^{-\frac{400}{8150}} = 723,6 \text{ mmHg}$$

Por tanto:

$$\delta = \frac{273+25}{273+\theta} \cdot \frac{h}{760} = \frac{273+25}{273+10} \cdot \frac{h}{760} = \frac{298}{283} \cdot \frac{723,6}{760} = 1,00257$$

Finalmente la rigidez dieléctrica se obtendrá multiplicando la rigidez dieléctrica en condiciones de referencia por el valor calculado de la densidad relativa:

$$E_c (\text{zona 1}) = 30 \text{ kV/cm} \cdot 1,00257 = 30,08 \text{ kV/cm}$$

Si las pérdidas por efecto corona en una línea siguen la siguiente expresión, calcular las pérdidas totales de la línea.

$$P_c = \frac{244}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U - U_c)^2 \cdot 10^{-5} \text{ kW / m}$$

Teniendo en cuenta que:

f = 50 Hz,

r = radio del conductor = 1 cm.

D = distancia media geométrica entre fases = 140 cm

U = tensión nominal fase neutro de la línea en kV.

U_c = tensión crítica fase neutro de aparición del efecto corona, en kV, según la fórmula simplificada siguiente aplicable a las dos zonas de la línea:

$$U_c = 15 \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (\text{kV})$$

Siendo, δ, el factor de corrección por la densidad relativa del aire (presión y temperatura distinta de 1 atmósfera y 25°C), y siendo r, el radio del conductor en cm.

En primer lugar se calcula la tensión crítica fase-neutro de aparición del efecto corona según la fórmula:

$$\text{Zona 1: } U_c = 15 \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} = 74,124 \cdot \delta = 71,137 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

$$\text{Zona 2: } U_c = 15 \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r} = 74,124 \cdot \delta = 74,315 \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

Las pérdidas por efecto corona se calculan utilizando la fórmula:

$$\text{Zona 1: } P_c = \frac{244}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U - U_c)^2 \cdot 10^{-5} = \frac{0,015466}{\delta} (U - U_c)^2 = 0,2475 \text{ kW / km} =$$

$$0,2475 \cdot 70 = 17,32 \text{ kW}$$

$$\text{Zona 2: } P_c = \frac{244}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D}} (U - U_c)^2 \cdot 10^{-5} = \frac{0,015466}{\delta} (U - U_c)^2 = 0,0085 \text{ kW / km} =$$

$$0,0085 \cdot 30 = 0,25 \text{ kW}$$

B NOMBRE Y APELLIDOS _____ DNI _____

Fecha: _____

Código asignatura: 525318

Las pérdidas corona totales en la línea serán las de la zona 1 más las de la zona 2, es decir:

$$P_{\text{corona}} = 17,57 \text{ kW}$$

5. Si un cable de una línea subterránea alta tensión con conductor de cobre de 95mm² aislado con XLPE, que parte de una temperatura inicial de funcionamiento en régimen permanente de 90°C es capaz de soportar una densidad de corriente de 202 A/mm² durante 0,5 segundos, calcular durante cuanto tiempo sería capaz de soportar la intensidad de cortocircuito trifásico de una red de 350 MVA de potencia de cortocircuito a 20 kV de tensión nominal de funcionamiento.

- a) 0,6 s b) 1,0 s c) 1,3 s d) 1,5 s **e) 1,8 s** e) 2,0 s

$$I_{cc,III} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3}U} = \frac{350 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 10104 \text{ A}$$

$$\frac{I_{cc}}{S} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \Rightarrow 202 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = \frac{K}{\sqrt{0,5\text{s}}} \Rightarrow K = 142,8 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \text{s}^{\frac{1}{2}}$$

$$\sqrt{t_{cc}} = \frac{K}{I_{cc}} S = \frac{142,8}{10104} \cdot 95 = 1,34 \Rightarrow t_{cc} = 1,80\text{s}$$

Calcular también que intensidad de cortocircuito sería capaz de soportar este cable para un tiempo de actuación de las protecciones de la línea de 0,3 segundos.

- a) 12,5 kA b) 16 kA c) 20 kA **d) 25 kA** e) 31,5 kA

$$\frac{I_{cc}}{S} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \Rightarrow I_{cc} = \frac{K}{\sqrt{t_{cc}}} \cdot S = \frac{142,8}{\sqrt{0,3}} \cdot 95 = 24768 \text{ A}$$

6. Un cantón de una línea tendida en zona C, tiene un trazado aproximadamente rectilíneo y se compone de cinco vanos con las longitudes proyectadas y desniveles siguientes.

Vano n°	a (m)	h(m)
1	400	50
2	500	100
3	500	-200
4	600	100
5	650	-50

Nota: el desnivel de un vano se considera positivo cuando el apoyo de la derecha está más alto que el de la izquierda y viceversa.

B NOMBRE Y APELLIDOS _____ DNI _____

Fecha: _____

Código asignatura: 525318

La línea está tendida con conductor dúplex LA 180 de $d=17,5\text{mm}$ y peso por unidad de longitud $p=0,676\text{ kg/m}$.

Calcular para una tracción horizontal de cada conductor del haz de $T=1600\text{ kg}$, el peso de los conductores, con su sobrecarga reglamentaria de hielo para zona C, que gravita sobre el apoyo de suspensión situado entre los vanos números 2 y 3.

- a) 338 kg b) 1091 kg c) 1900 kg d) 1900 kg e) 2000 kg **f) 4000 kg**

Solución:

Se calcula en primer lugar el peso por unidad de longitud de cada conductor teniendo en cuenta la sobrecarga de hielo. Posteriormente se considerará que existen dos conductores por fase (conductores en dúplex, $n=2$).

$$r = p + p_h = 0,676 + 0,36\sqrt{d} = 0,676 + 0,36\sqrt{17,5} = 0,676 + 1,506 = 2,182 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{\text{gravivano}} = n \cdot \left[r \frac{b_2 + b_3}{2} + T(\text{tgn}_2 - \text{tgn}_3) \right]$$

$$\text{tgn}_2 = \frac{100}{500} = 0,2 \quad \text{tgn}_3 = \frac{-200}{500} = -0,4$$

$$b_2 = \sqrt{a_2^2 + h_2^2} = 509,9\text{m} \quad b_3 = \sqrt{a_3^2 + h_3^2} = 538,5\text{m}$$

$$P_{\text{gravivano}} = 2 \cdot \left[2,182 \frac{509,9 + 538,5}{2} + 1600(0,2 + 0,4) \right] = 4208 \text{ kg}$$

En una línea con los mismos vanos, longitudes y desniveles que en el problema anterior, calcular el esfuerzo transversal sobre el apoyo de suspensión situado entre los vanos 4 y 5, teniendo en cuenta solamente el efecto del viento sobre los conductores, para una sobrecarga de viento de 50 kg/m^2 que actúa transversalmente sobre la línea.

- a) 790 kg b) 870 kg c) 990 kg **d) 1090 kg** e) 1190 kg

$$F_{\text{eolovano}} = \frac{b_4 + b_5}{2} \cdot n \cdot \left(0,050 \frac{\text{kg}}{\text{mm.m}} \cdot 17,5\text{mm} \right) = \frac{608,3 + 651,9}{2} \cdot 2 \cdot (0,875) \text{ kg} = 1102,7\text{kg}$$

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

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_A:

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

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

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

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

5. Otros datos:

$$\rho(\text{Cu, a } 20^\circ\text{C}) = 17,6 (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km} \qquad \alpha (\text{Cu}) = 0,0039 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

B NOMBRE Y APELLIDOS _____ DNI _____

Fecha: _____

Código asignatura: 525318

$$\rho(\text{Al, a } 20^\circ\text{C}) = 28,3 \text{ } (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km}$$
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m};$$

$$\alpha (\text{Al}) = 0,0040 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$
$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

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

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

Sobrecarga de hielo:

$$\text{Zona B : } p_h = 0,18\sqrt{d} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \quad \text{Zona C : } p_h = 0,36\sqrt{d} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \quad d(\text{mm})$$