

**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. El envejecimiento de un cable aislado sigue la ley de Arrhénius con las constantes siguientes, con el valor de  $t$ , en meses.

$$\frac{1}{t} = b e^{-\frac{E}{RT}} ; b = 0,0647; \frac{E}{R} = 1143$$

Se desea calcular cual será la vida útil prevista para una temperatura de servicio en régimen permanente de 90°C.

- 30 años**
- 360 días
- 10 años
- 50,66 años

Solución:

La ley de Arrhénius facilitada en el enunciado se puede transformar de la siguiente forma:

$$\frac{1}{t} = b e^{-\frac{E}{RT}} \Rightarrow -\ln t = \ln b - \frac{E}{RT} \Rightarrow$$

$$\ln t = \frac{E}{RT} - \ln b = \frac{1143}{T} - \ln(0,0647) = \frac{1143}{(273 + 90)} - \ln(0,0647) \Rightarrow$$

$$\ln t = 3,149 + 2,738 = 5,886 \Rightarrow$$

$$t = 360 \text{ meses} = 30 \text{ años}$$

2. Indicar en función de que parámetros varía linealmente el coeficiente pelicular,  $Y_s$ .
- Con la sección del conductor.
  - Con el cuadrado de la sección del conductor y con el cuadrado de la frecuencia.**
  - Con el cuadrado de la relación entre el diámetro del conductor y la distancia entre los ejes de los conductores más próximos.
  - Con el cuadrado del cociente entre la sección del conductor y la frecuencia.

- e) Con el valor de la resistencia en corriente continua.
3. Si se conoce que la capacidad de carga en servicio permanente de un cable con aislamiento termoestable de XLPE es de 120 A, cuando está instalado al aire en ciertas condiciones sobre una bandeja perforada, y con temperatura ambiente de 40°C. Calcular la capacidad de carga en servicio permanente cuando el cable esté sometido a la acción directa del sol que se supone incrementa la temperatura ambiente en unos 10°C.
- a) 72 A
  - b) 93 A
  - c) 60 A
  - d) 108 A**

Si se denomina I, a la intensidad de 120 A que es capaz de transportar un cable con aislamiento de XLPE (cuya temperatura máxima admisible en servicio permanente es de 90 °C) para una temperatura ambiente de 40 °C, se desea calcular la intensidad, I', que sería capaz de transportar el mismo cable cuando la temperatura ambiente fuera de 50°C.

Partiendo de la fórmula simplificada que nos da la intensidad máxima admisible en función de la resistencia eléctrica (R) y de la resistencia térmica (T), y del salto térmico o diferencia entre la temperatura del conductor y la temperatura ambiente ( $\Delta\theta$ ), y teniendo en cuenta que se trata de un cable unipolar (n=1),

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\theta}{nRT}}$$

$$I' = \sqrt{\frac{\Delta\theta'}{nRT}} \Rightarrow$$

$$I' = I \sqrt{\frac{\Delta\theta'}{\Delta\theta}} = 120 \sqrt{\frac{(90-50)}{(90-40)}} = 120 \sqrt{\frac{40}{50}} = 120 \cdot 0,8944 = 107,3 \text{ A}$$

4. La tensión de ruptura a frecuencia industrial de 50 Hz, entre dos conductores de alta tensión instalados al aire, que reproducen un campo casi uniforme es de 100 kV de pico, para una separación entre conductores de 5 cm, en condiciones de temperatura y presión de referencia (25°C y presión de una atmósfera). Calcular la tensión de ruptura de pico para una temperatura de 40°C y una presión de 700 mmHg.
- a) 109 kV
  - b) 92 kV
  - c) 88 kV**
  - d) 173 kV

La rigidez dieléctrica del aire es directamente proporcional a la densidad relativa del aire,  $\delta$ , que a su vez es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto para conocer la nueva tensión de ruptura

bastará con multiplicar la tensión de ruptura en condiciones de referencia (100kV) por la densidad relativa del aire respecto de las condiciones de referencias indicadas:

$$\delta = \left( \frac{273 + 25}{273 + 40} \right) \frac{700}{760} = 0,8769$$

$$U_{ruptura} = \delta \cdot U_{ruptura \text{ de referencia}} = 0,8769 \cdot 100kV = 87,69kV$$

5. Se está proyectando el tendido de una línea con un conductor trenzado en haz con conductores de aluminio soportado por un cable fiador de acero, con las siguientes características:

Conductor: RHVZ 18/30 kV                      3(1 x 95) Al + 50 Ac

Sección conductores de Aluminio: 95 mm<sup>2</sup>.

Sección fiador de acero: 50 mm<sup>2</sup>.

Diámetro del haz: 80,4 mm

Módulo de elasticidad del acero, E = 20 000 kg /mm<sup>2</sup>

Coefficiente de dilatación del acero:  $\delta = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Carga de rotura del cable de acero: 6240 kg.

Carga de rotura del aluminio: 15 kg/mm<sup>2</sup>

Peso de todo el haz, p = 4,336 kg/m

La línea discurre por una zona a menos de 500 metros de altitud (zona A), y la longitud del vano teórico de regulación es de 80 metros, con vanos aproximadamente a nivel.

Calcular la tracción máxima en el apoyo, considerando un coeficiente de seguridad de 3.

- a) 6240 kg
- b) 1425 kg
- c) **2080 kg**
- d) 475 kg

Solución:

La tracción máxima posible en el apoyo resultará de dividir la carga de rotura del cable fiador por el coeficiente de seguridad, ya que los conductores de aluminio no realizan ninguna función de resistencia mecánica sino que sólo se encargan de transportar la corriente:

$$T_A = 6240 \text{ kg} / 3 = 2080 \text{ kg}$$

Calcular la tracción horizontal máxima, indicando las condiciones de temperatura y sobrecarga a las que se refiere, teniendo en cuenta que se trata de zona A.

- a) 5640 kg
- b) 1380 kg
- c) **2066 kg**
- d) 465 kg

Solución:

Si se parte de la tracción máxima en el apoyo, se puede calcular la tracción horizontal máxima, para un vano a nivel de 80 metros del longitud ( $a = 80$  m).

Donde  $T_A = 2080$  kg

Las condiciones de sobrecarga corresponden en zona A a condiciones de viento a  $-5^\circ\text{C}$ , además del peso propio de los conductores. Se tendrá en cuenta que el viento actúa sobre el diámetro aparente del haz, y que como es mayor de 16 mm el factor multiplicador es de 0,05

$$r = \sqrt{p^2 + q^2} = \sqrt{4,336^2 + (0,005 \cdot d)^2} = \sqrt{4,336^2 + (0,05 \cdot 80,4)^2} = 5,913 \text{ kg / m}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$T = 2066,5 \text{ kg}$$

Calcular el valor de la tensión de cada día (EDS) para poder comprobar si dicho valor es inferior al 21% (límite aplicable a los cables de acero con objeto de evitar fenómenos vibratorios).

- a) 32 %
- b) 28%
- c) **26%**
- d) 22%

Solución:

Para calcular el valor de la tensión de cada día se debe aplicar la ecuación de cambio de condiciones entre una situación inicial y la situación final:

Situación inicial:

$$t_0 = -5^\circ\text{C}$$

$$r_0 = 5,913 \text{ kg/m}$$

$$T_0 = 2066,5 \text{ kg}$$

Situación final:

**A** NOMBRE Y APELLIDOS \_\_\_\_\_ DNI \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Código asignatura: 525318

$$t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$r = 4,336 \text{ kg/m}$$

T, es la tracción que se desea calcular.

$$T^2 (T+A) = B$$

Se obtienen valores de:

$$A = 346,8 \text{ kg}$$

$$B = 5,015 \cdot 10^9 \text{ kg}^3$$

Resolviendo la ecuación se obtiene:

$$T = 1603,4 \text{ kg} = 25,7\% \text{ de la carga de rotura.}$$

6. Se debe proyectar una derivación individual (DI) que alimenta en monofásico a una vivienda con nivel de electrificación básico con previsión de cargas de 5750 W, y factor de potencia unitario, cuya longitud desde el embarrado del cuarto de contadores hasta el cuadro privado de los dispositivos generales de mando y protección de la vivienda es de 10 metros (vivienda ubicada en la segunda planta).

El sistema de instalación es el de conductores aislados al aire en el interior de conductos cerrados de obra de fábrica con conductores unipolares de cobre con aislamiento de compuesto termoplástico de PVC. Considerar que la temperatura ambiente es de 40°C como máximo, y que la temperatura máxima admisible para el PVC en servicio permanente es de 70°C. La intensidades máximas admisibles en estas condiciones de instalación se recogen en la tabla. Considerar un coeficiente pelicular  $Y_s = 0,02$ .

Nº de conductores cargados	Sección (mm <sup>2</sup> )	Aislamiento	Intensidad máxima admisible a 40°C de temperatura ambiente, (A)
2	2,5	PVC	21
2	4	PVC	27
2	6	PVC	36
2	10	PVC	50
3	2,5	PVC	18,5
3	4	PVC	24
3	6	PVC	32
3	10	PVC	44

- a) Calcular la sección de la derivación individual atendiendo al criterio de la intensidad máxima admisible del cable, y al criterio de la caída de tensión, teniendo en cuenta que la caída de tensión debería ser inferior al límite reglamentario del 1%.
- a) 2,5 mm<sup>2</sup>
  - b) 4 mm<sup>2</sup>
  - c) **6 mm<sup>2</sup>**

d) 10 mm<sup>2</sup>

Criterio de la intensidad máxima admisible:

En primer lugar se calcula la intensidad de diseño del circuito:

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

$$\text{Como } P = 5750 \text{ W; } \cos \varphi = 1 ; U = 230 \text{ V} \Rightarrow I = 25 \text{ A}$$

Por lo tanto el conductor deberá ser de una sección tal que soporte en permanencia más de 25 A. Teniendo en cuenta que se tienen dos conductores cargados (circuito monofásico), según la tabla del enunciado se podría elegir una sección de 4, 6 ó 10 mm<sup>2</sup>. Para determinar cual debe ser la sección entre estas tres posibles se debe aplicar el criterio de la caída de tensión máxima admisible.

Previamente a la aplicación de este criterio es necesario conocer cual será la temperatura de trabajo del conductor, para lo cual se puede aplicar la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \theta_{real} &= \left[ (\theta_{m\acute{a}x.adm.} - \theta_{ambiente}) \cdot \left( \frac{I}{I_{m\acute{a}x.adm.}} \right)^2 \right] + \theta_{ambiente} = (70 - 40) \left( \frac{I}{I_{m\acute{a}x.adm.}} \right)^2 + 40 = \\ &= 40 + 30 \left( \frac{I}{I_{m\acute{a}x.adm.}} \right)^2 \text{ } ^\circ C \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que los valores de las intensidades máximas admisibles se facilitan en el enunciado, y aplicando la fórmula anterior se puede calcular la temperatura real de trabajo para cada sección de 4, 6 ó 10 mm<sup>2</sup>

$$\text{Sección de } 4 \text{ mm}^2 \Rightarrow \theta_{real} = 65,7^\circ C$$

$$\text{Sección de } 6 \text{ mm}^2 \Rightarrow \theta_{real} = 54,5^\circ C$$

$$\text{Sección de } 10 \text{ mm}^2 \Rightarrow \theta_{real} = 47,5^\circ C$$

Criterio de la caída de tensión:

Al ser un circuito monofásico la caída de tensión, en voltios, entre fase y neutro se calcula como:

$$\Delta U = 2 R I,$$

donde

$$I = 25 \text{ A}$$

$$R = (1 + Y_s) \rho_\theta \frac{L}{S} = (1 + Y_s) \rho_{20} [(1 + \alpha(\theta - 20))] \frac{L}{S} = (1 + 0,02) \cdot 0,0176 \cdot [1 + 0,0039(\theta - 20)] \frac{10}{S}$$

**A** NOMBRE Y APELLIDOS \_\_\_\_\_ DNI \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Código asignatura: 525318

Con las formulas anteriores se puede calcular la caída de tensión para las posibles secciones, teniendo en cuenta en cada caso la temperatura de trabajo:

$$S = 4 \text{ mm}^2; \theta = 65,7^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta U = 2,64 \text{ V}$$

$$S = 6 \text{ mm}^2; \theta = 54,5^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta U = 1,70 \text{ V}$$

$$S = 10 \text{ mm}^2; \theta = 47,5^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta U = 0,994 \text{ V}$$

Como la caída de tensión máxima admisible es el 1% de 230 voltios, es decir, 2,3 V, se tiene que la sección menor que cumple con la caída de tensión es la de  $6 \text{ mm}^2$

- b) Calcular la temperatura del conductor seleccionado para la intensidad de servicio correspondiente a la previsión de cargas.
- a)  $50^\circ\text{C}$
  - b)  $55^\circ\text{C}$**
  - c)  $60^\circ\text{C}$
  - d)  $65^\circ\text{C}$

Solución:

En el apartado anterior, ya se había calculado la temperatura de trabajo del conductor de sección de  $6 \text{ mm}^2$  que resultó ser de  $54,5^\circ\text{C}$ .

- c) Calcular la caída de tensión en voltios para la intensidad de servicio correspondiente a la previsión de cargas.
- a)  $1,5 \text{ V}$
  - b)  $1,7 \text{ V}$**
  - c)  $1,9 \text{ V}$
  - d)  $2,2 \text{ V}$

Solución:

La caída de tensión también se ha calculado en el primer apartado.

**A** NOMBRE Y APELLIDOS \_\_\_\_\_ DNI \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Código asignatura: 525318

FORMULARIO:

1. Utilizando las ecuaciones de la catenaria.

$X$  = abcisa del punto medio de un vano

Cambio de condiciones con un vano único:

Con varios vanos entre apoyos anclaje:

Flecha:

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:

Con vano regulador, se sustituirá  $a$  por:

3. Relación entre  $T$  y la tensión en el punto más alto de fijación del conductor  $T_A$ :

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

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

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

Nota: sustituir 0,03 por 0,025 si el diámetro del conductor es mayor de 16 mm<sup>2</sup>.

5. Otros datos:

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

$\alpha (\text{Cu}) = 0,0039 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$



**A** NOMBRE Y APELLIDOS \_\_\_\_\_ DNI \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Código asignatura: 525318

$$\rho(\text{Al, a } 20^\circ\text{C}) = 28,3 (\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km} \quad \alpha (\text{Al}) = 0,0040 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m} \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$