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. Indique las consecuencias más nocivas del efecto corona en las líneas de transporte.

a) Provoca un aumento de la capacidad de las líneas que se deben compensar conectando inductancias en serie.
b) Perturba las radiocomunicaciones y provoca pérdidas de potencia activa.
c) Provoca numerosos defectos en las líneas como consecuencia de cortocircuitos entre conductores.
d) Aumenta las pérdidas en la línea debido a la conductancia a través de los aisladores, sobre todo en ambiente húmedo.

2. Define lo que son las descargas parciales que se producen en los cables de alta tensión.

a) Arborescencias de origen químico originadas por la presencia de contaminantes y humedad en el terreno que rodea a un cable enterrado.
b) Fenómenos que se producen para campos eléctricos en el interior del aislamiento entre 1 y 3 kV/mm.
c) Ionizaciones que se producen en los huecos de gas ocluido que queda dentro del los aislamientos sólidos del cable.
d) Defectos en las cubiertas de los cables enterrados provocados por las sales con alto contenido en azufre, que metabolizadas por microorganismos despenden ácido sulfhídrico que ataca a las cubiertas.

3. Calcular el valor máximo admisible del campo eléctrico para evitar el efecto corona en una línea ubicada a gran altitud donde la presión atmosférica se considera de 700 mmHg y la temperatura de –20ºC, si el campo eléctrico crítico en condiciones de referencia de temperatura y presión (25ºC y 1 atmósfera) es de 30 kV /cm.

    a) 30 kV/cm
    b) 32 kV/cm
    c) 34 kV/cm
    d) 28 kV/cm
    e) 26 kV/cm.

Solución:

$E_{crítico}$ = (30 kV / cm) . δ

Siendo δ la densidad relativa del aire respecto de las condiciones de referencia (25ºC, 1 atmósfera). La densidad relativa aumenta cuando la presión es mayor que la de referencia y disminuye cuando la temperatura es mayor que la de referencia.

$$\delta = \frac{(273+25)}{(273-20)} x \frac{700}{760} = 1{,}0848$$

$E_{crítico}$ = (30 kV / cm) . δ = 30 . 1,0848 = 32, 55 kV /cm.

4. Seleccionar la respuesta correcta:

a) En un vano cualquiera la tensión en los extremos de fijación del conductor es siempre mayor que la tensión horizontal del conductor.
b) En un vano a nivel la tensión en los extremos de fijación del conductor es igual a la tensión horizontal del conductor.
c) En un vano a nivel la tensión en los extremos de fijación del conductor es mayor que la tensión horizontal.
d) En un vano a nivel, la tensión horizontal es la tensión en el punto de fijación del conductor en el apoyo más el peso por unidad de longitud multiplicado por la altura del punto de fijación sobre la altura del vértice de la catenaria.

5. La tabla de carga de un cable con aislamiento de XLPE para condiciones de referencia de instalación al aire (40ºC) indica que su intensidad máxima admisible es de 400 A. Calcular la intensidad máxima admisible si se instala sometido a la acción directa del sol, lo que incrementará la temperatura de la cubierta en 20ºC.

a) 380 A
b) 360 A
c) 330 A
d) 310 A
e) 240 A

Solución:

Para calcular la intensidad máxima admisible hay que aplicar el factor de corrección por temperatura ambiente distinta de 40 ºC, ya que en este caso puede llegar hasta 60ºC. El factor de corrección se puede deducir de la ecuación de equilibrio térmico de un conductor:

$\Delta\theta = T \cdot W_c$

$\Delta\theta = T. R\, I^2.$

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

Por tanto:

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

Si se comparan dos situaciones con diferentes saltos térmicos:
$\Delta\theta_1$ = (90 – 40) ºC = 50ºC
$\Delta\theta_2$ = (90 – 60) ºC = 30ºC

Se puede calcular que:

$$I_2 = I_1\sqrt{\frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1}} = I_1\sqrt{\frac{30}{50}} = I_1.(0,77459) = 400\ A.(0,77459) = 310\ A$$

6. Calcular el coeficiente de sobrecarga correspondiente a las condiciones de tracción máxima admisible de una línea con conductor LA 280 situado en la zona C, para una hipótesis especial de cálculo con el efecto combinado y simultáneo de viento y hielo.
   Datos a considerar:
   Peso del conductor: 0,959 kg/m
   Diámetro conductor: d =21,8 mm.
   Sobrecarga del viento a considerar en la hipótesis, q = 50 $(v/120)^2$ kg/m^2
   Con v = velocidad del viento en km/h. En la hipótesis, considerar: v = 60 km /h.
   Densidad del hielo: 750 kg /m3.
   Sobrecarga del hielo en zona C: p_h =360√d (g/m).

   a) 3,5
   b) 2,6
   c) 2,9
   d) 2,4
   e) 3,2

Calcular también el espesor del manguito de hielo

a) 21,8 mm
b) 20,7 mm
c) 19,7 mm
d) 18,7 mm
e) 17,9 mm

<u>Solución:</u>

Antes de calcular el coeficiente de sobrecarga hay que conocer el espesor del manguito de hielo, partiendo para ello de la sobrecarga debida al hielo y de su densidad:

p_h = 0,36√d (kg/m)

p_h = S. γ (kg/m)

siendo la densidad del hielo según el enunciado, γ =750 kg /m^3.

Por otra parte, la sección transversal, S, del manguito de hielo tiene forma de corona circular y se puede calcular en función del radio, r, del conductor como:

$S = [\pi (r + e)^2 - \pi r^2] = [\pi e^2 + 2\pi r e]$

Donde, e, es el espesor del manguito de hielo.

Por supuesto: d =2r

Para mayor comodidad se decide expresar las unidades de las magnitudes: r, e, d en milímetros, por lo tanto se cambian las unidades de la densidad del hielo:

$\gamma = 750 \text{ kg /m}^3 = 750.\ 10^{-6} \text{ kg /(mm}^2\text{. m)}$

Por tanto:

$p_h = 0{,}36\sqrt{d} = 750.\ 10^{-6}\ [\pi e^2 + 2\pi r e] \Rightarrow$

$$e^2 + 2er - \frac{480\sqrt{2r}}{\pi} = 0$$

Que es una ecuación de segundo grado que se resuelve fácilmente como:

$$e = \frac{-2r + \sqrt{4r^2 + 4\left(\frac{480\sqrt{2r}}{\pi}\right)}}{2} = -r + \sqrt{r^2 + \frac{480\sqrt{2r}}{\pi}}$$

Como según el enunciado, r = d/2 = 10,9 mm

Se obtiene un valor para el espesor del manguito de hielo de:

e = 17,95 mm

Una vez conocido el espesor del manguito se calcula el coeficiente de sobrecarga, m:

$$m = \frac{r}{p} = \frac{\sqrt{(p + p_h)^2 + q^2}}{p}$$

donde:

p = 0,959 kg/m
$p_h = 0{,}36\sqrt{d} = 0{,}36\sqrt{21{,}8} = 1{,}681$ kg/m

q: es la sobrecarga debida al viento que se calcula en función del diámetro del conductor y del espesor de su manguito:

$$q = 50\,\frac{kg}{m^2}\left(\frac{60}{120}\right)^2 .(d + 2e) = 12{,}5.(57{,}7.10^{-3})\ kg/m = 0{,}721\ kg/m$$

Por lo tanto, el factor de sobrecarga, m, se calcula como:

$$m = \frac{\sqrt{(p + p_h)^2 + q^2}}{p} = \frac{\sqrt{(2{,}64)^2 + (0{,}721)^2}}{0{,}959} = 2{,}85$$

7. Un vano de una línea eléctrica aérea, situado en zona A entre dos apoyos de anclaje, esta definido por una separación horizontal entre apoyos de a = 250 m, y un desnivel h de 50 metros, con mayor altura en el apoyo de la derecha. Para realizar el tendido se emplea un conducto de aluminio-acero que tiene las características siguientes:

   Sección total: 78,6 mm^2
   Diámetro del conductor: 11,34 mm
   Módulo de elasticidad, E =7949 kg /mm^2
   Coeficiente de dilatación: δ = 19,3. 10^{-6} $ºC^{-1}$
   Carga de rotura:2316 kg.
   Peso, p =0,267 kg/m

   Se desea que en las condiciones más desfavorables a efectos de esfuerzos de tracción (sobrecarga de viento a –5ºC, al tratarse de zona A), la máxima fuerza de tracción a que pueda estar sometido el conductor no supere la de rotura dividida por un coeficiente de seguridad de 3.

   Determinar la componente de la fuerza de tracción horizontal en las condiciones más desfavorables citadas.

   a) 770 kg
   b) 760 kg
   c) 750 kg
   d) 740 kg
   e) 730 kg

   Aplicar la ecuación de cambio de condiciones para determinar la componente horizontal de la fuerza de tracción el día del tendido supuesta una temperatura de 20ºC y sin sobrecarga.

   a) 280 kg
   b) 300 kg
   c) 320 kg
   d) 340 kg
   e) 360 kg

Determinar la flecha el día del tendido.

a) 6,0 m
b) 7,0 m
c) 7,5 m
d) 8,0 m
e) 6,5 m

Solución: Valor de la tracción horizontal máxima admisible en el conductor.

En las condiciones más desfavorables a efectos de tracción el conductor estará sometido a su propio peso y a la sobrecarga del viento:

p = 0,267 kg/m
q = (0,06 . d) kg/m = 0,6804 kg/m

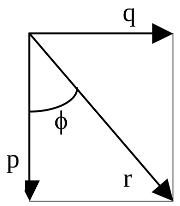
Con lo cual la carga resultante tendrá un valor:

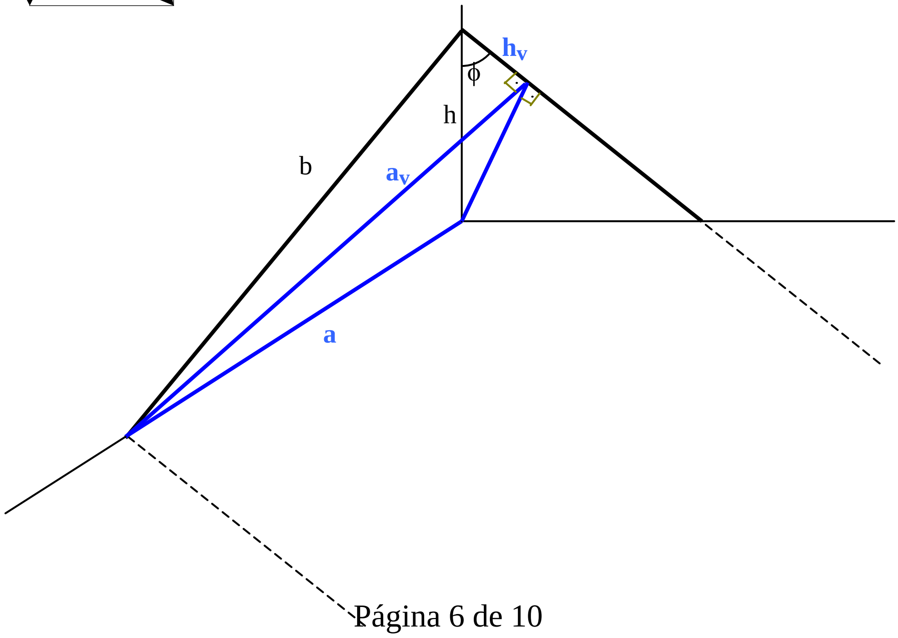
$$r = \sqrt{p^2 + q^2} = 0{,}7309\ kg / m$$

El peso aparente resultante estará inclinada respecto de la vertical un ángulo ϕ, tal que

tag ϕ = q / p $\Rightarrow$ ϕ = 1,197 radianes

Por el efecto del viento también el plano de la catenaria se inclinará este mismo ángulo, de modo que aunque la longitud real del vano (b) es fija ya que está determinada por la posición de los apoyos, variará la longitud del vano proyectado, así como el desnivel de dicho vano medidos ambos en el plano inclinado de la catenaria.





Las expresiones aplicables que se deducen de la figura son las siguientes:

Longitud real del vano, b:

$$b = \sqrt{a^2 + h^2} = \sqrt{250^2 + 50^2} = 255 \text{ m}$$

Desnivel del vano por efecto del viento, h_v:

$h_v = h \cos \phi = 50.\ 0{,}3653 = 18{,}264$ m

Longitud del vano proyectado con viento, a_v:

$$a_v = \sqrt{b^2 - h_v^{\,2}} = 254{,}3 \text{ m}$$

El coeficiente de seguridad del conductor debe cumplirse en aquel punto en el que la tracción a la que pueda estar sometido sea la máxima, T_A, y corresponderá al punto de fijación en el apoyo más alto del vano:

$$T_A = \frac{\text{Carga de rotura}}{3} = \frac{2316}{3} = 772 \text{ kg}$$

Conocida la tensión total en el punto mas alto del conductor se puede calcular la componente horizontal, T, según la fórmula siguiente, pero teniendo en cuenta que se deben utilizar el desnivel (h_v) y la longitud proyectada del vano (a_v) existentes en el plano inclinado de la catenaria por efecto del viento, así como el valor de carga total sobre el conductor, r.

$$T = \frac{T_A - r\dfrac{h_v}{2} + \sqrt{\left(T_A - r\dfrac{h_v}{2}\right)^2 - \dfrac{r^2 b^2}{2}}}{2\dfrac{b}{a_v}}$$

Sustituyendo todos los valores conocidos se obtiene para la tensión horizontal del conductor un valor, **T= 757,6 kg.**

Determinación de la componente horizontal de la tracción el día del tendido.

Como el vano es de gran longitud y está desnivelado se deberían aplicar directamente las ecuaciones de la catenaria, aunque por su sencillez se utilizará la ecuación de cambio de condiciones basada en el método de Truxá. No se puede aplicar en este caso la simplificación de la parábola.

El método de Truxá se basa en la utilización de las tensiones en el punto medio de los vanos (T_m) en lugar de las componentes horizontales (T). Por otra parte habrá que tener en cuenta que la longitud proyectada del vano, a, varía cuando se considera el efecto del viento, lo cual habrá que considerar también en la ecuación de cambio de condiciones, distinguiéndose por ello entre la longitud proyectada inicial, a_0, y la final, a. Las ecuaciones que definen este método para el caso de un único vano son las siguientes:

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

$$A = \delta(t - t_0)SE - T_{m,0} + \frac{a_0^2}{24}\frac{r_0^2}{T_{m,0}^2}SE$$

$$B = \frac{a^2 r^2}{24}SE$$

$$T_{m,0} = T_0 \frac{b}{a_0}$$

$$T_m = T\frac{b}{a}$$

Por lo tanto se trata de pasar de unas condiciones de temperatura, carga sobre el conductor y tensión a otras nuevas condiciones, siendo la longitud del vano b = 255m.

Condiciones iniciales:
T_0 = 757,6 kg (tensión horizontal en todo el vano)
$a_0 = a_v$ = 254,3 m
$T_{m,0}$ = 759,6 kg (tensión en el punto medio del vano
r_0 = 0,7309 kg/m (peso del conductor y sobrecarga de viento)
t_0 = -5ºC

Utilizando la ecuación de cambio de condiciones se deben calcular: T_m
Conocida T_m, se calculará el valor de la tensión horizontal, T.
a = 250 m
r = 0,267 kg/m (peso conductor sin sobrecarga)
t = 20ºC

Las constantes de la ecuación de cambio de condiciones se calculan como:

A = 1100,51 kg; B = 115991547,2 kg^3

Resolviendo por aproximaciones sucesivas la ecuación de cambio de condiciones se obtiene para el valor de la tensión en el punto medio del vano

T_m = 288,95 kg

A continuación se calcula el valor de la componente horizontal de la tensión

$$T = T_m\frac{a}{b} = 283{,}34\ kg$$

<u>Determinar la flecha el día del tendido.</u>

B NOMBRE Y APELLIDOS______________________________DNI__________
Fecha:______________ Código asignatura: 525318

Utilizando el método de Truxá, la flecha se calcula como:

$$f = \frac{rab}{8T}\left(1 + \frac{a^3 r^2}{48T^2}\right)$$

Sustituyendo los siguientes valores:

r = 0,267 kg/m (peso conductor sin sobrecarga)
a = 250 m
b = 255 m
T = 283,34 kg

Se obtiene una flecha, f = 7,516 m.

FORMULARIO:

1.Utilizando las ecuaciones de la catenaria.

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

X = abcisa del punto medio de un vano

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

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

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:

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

Cambio de condiciones, vano único:

$$T^2(T + A) = B \qquad A = \delta(t - t_0)SE - T_0 + \frac{a_0^{\ 2}}{24}\frac{r_0^{\ 2}}{T^2_{\ 0}}SE;\quad B = \frac{a^2 r^2}{24}SE;$$

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:

$$T = \frac{T_A - r\frac{h}{2} + \sqrt{\left(T_A - r\frac{h}{2}\right)^2 - \frac{r^2 b^2}{2}}}{2\frac{b}{a}}$$

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, -5ºC + ½ Viento).

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

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

5. Otros datos:

ρ(Cu, a 20ºC) = 17,6 (Ω.mm^2)/km α (Cu) = 0,0039 $ºC^{-1}$
ρ(Al, a 20ºC) = 28,3 (Ω.mm^2)/km α (Al) = 0,0040 $ºC^{-1}$
$\mu_0 = 4\pi .\ 10^{-7}$ H/m $\varepsilon_0 = 8{,}854 .\ 10^{-12}$ F/m