

**EXAMEN ESCRITO I**

Apellidos y nombre: _____

Número de matrícula: _____

DNI: _____

PARTE 1: PREGUNTAS DE TEST (25% del total del examen). Cada 3 respuestas incorrectas descuentan una correcta**1º) Para un material ferromagnético dado indicar cual de las siguientes afirmaciones es cierta (0,25 PTOS):**

- ☒ A) El flujo que puede circular por él es proporcional a la sección que presente.
- B) Cuanto menor sea la densidad de flujo B mayor será el flujo que circule por él.
- C) Para una misma densidad de flujo B cualquier núcleo magnético que se construya con el mismo material transportará la misma cantidad de flujo independientemente de su geometría.
- D) No existe ningún límite para el valor de la densidad de flujo a la que puede estar sometido un material ferromagnético.
- E) Ninguna de las anteriores es cierta.

3º) Indique cual de las siguientes afirmaciones es falsa (0,25 PTOS):

- A) En los transformadores se utiliza aceite como refrigerante.
- B) Existen transformadores que sólo utilizan aire como refrigerante con convección natural.
- C) Un transformador ONAF utiliza ventiladores.
- ☒ D) Un transformador con aislamiento clase Y puede soportar más temperatura que uno con aislamiento clase F.
- E) Los transformadores secos presentan sus devanados encapsulados en resina epoxy.

4º) Se conectan en paralelo dos transformadores monofásicos de igual tensión pero diferentes tensiones de cortocircuito relativas. El transformador 1 tiene una $\varepsilon_{cc1}=5\%$ mientras que el transformador 2 presenta una $\varepsilon_{cc2}=10\%$. Indicar cual de las siguientes afirmaciones es cierta (0,25 PTOS).

- A) Ambos transformadores trabajan con el mismo índice de carga
- B) El transformador 2 trabaja con el doble de índice de carga que 1
- ☒ C) El transformador 1 trabaja con el doble de índice de carga que 2
- D) No es posible determinar el índice de carga de los transformadores.
- E) Todas las respuestas anteriores son falsas.

5º) Indique cual de las siguientes afirmaciones es falsa (0,25 PTOS):

- A) En los transformadores de medida se trabaja con valores bajos de densidad de flujo
- B) Los materiales magnéticos utilizados deben ser de alta permeabilidad
- C) Si el transformador de medida es de corriente trabaja con el secundario próximo al cortocircuito.
- D) Sus relaciones de transformación están normalizadas.
- ☒ E) Tienen un elevado rendimiento.



6º) Indique cual de las siguientes afirmaciones es falsa (0,25 PTOS):

- A) El campo magnético total (producido por inducido + inductor) en una máquina de CC es menor que el campo de inductor.
- B) Los polos de compensación son polos adicionales que se incluyen para reducir localmente el efecto de la reacción de inducido.
- ☒ C) La reacción de inducido de una máquina de CC no afecta al colector.
- D) Cuando la máquina de CC trabaja en vacío la reacción de inducido es despreciable.
- E) Cuando la máquina trabaja como generador existe reacción de inducido.

7º) Indique cual de las siguientes afirmaciones es falsa (0,25 PTOS):

- A) En un motor de CC el par motor es proporcional a la corriente de inducido.
- B) Un generador de CC autoexcitado no utiliza ninguna fuente externa para producir el campo magnético.
- C) En un generador de CC con excitación independiente es posible hacer variar la tensión de salida sin variar la velocidad de giro.
- ☒ D) Un motor de excitación serie puede trabajar sin ningún problema en vacío.
- E) En los motores de excitación independiente y derivación la variación de la velocidad con el par resistente aplicado es bastante escasa.

8º) Indique cual de las siguientes afirmaciones es falsa (0,25 PTOS):

- A) Una máquina eléctrica con carcasa IP54 presenta menor protección que una con carcasa IP56.
- B) Ninguna máquina eléctrica debe trabajar a temperatura superior a la correspondiente a su clase de aislamiento.
- ☒ C) La chapa magnética que se utiliza en la construcción de transformadores y máquinas eléctricas rotativas es de hierro puro laminado en caliente.
- D) La clase de servicio S8 de una máquina eléctrica es más exigente para la máquina que la clase de servicio S2.
- E) Si se reduce la temperatura de funcionamiento incrementando la refrigeración es posible, al menos temporalmente, que una máquina eléctrica trabaje por encima de su potencia nominal.

9º) Razone cual de las siguientes afirmaciones es falsa. Se realiza un ensayo de vacío por el primario y uno de cortocircuito por el secundario de un transformador de potencia ambos en condiciones nominales:

- A) Es posible determinar las pérdidas en el hierro en condiciones nominales
- B) Es posible determinar las pérdidas en el cobre en condiciones nominales.
- C) Si el ensayo de cortocircuito se hubiese realizado por el primario se habrían medido en él las mismas pérdidas.
- ☒ D) Si el transformador es elevador y el ensayo de cortocircuito se hubiese realizado por el primario las pérdidas medidas serían menores.
- E) Es posible determinar el rendimiento del transformador.

10) Indique cual de las siguientes opciones no es posible. Un técnico de la planta que Vd. controla afirma que al conectar el transformador trifásico que alimenta a un sistema de alumbrado de 400 V la tensión medida en el secundario del transformador con el alumbrado funcionando a plena carga es de 240 V. Sabiendo que el transformador es trifásico de 22kV/400 V, 50Hz, se supone que:

- A) El técnico ha medido la tensión de fase en vez de la de línea.
- ☒ B) Todo funciona correctamente y la tensión de 240 V esta causada por la caída de tensión interna del transformador.
- C) El equipo con el que se ha realizado la medida de tensión puede estar dañado.
- D) Existe un fallo del sistema de alumbrado y el transformador trabaja totalmente sobrecargado con corrientes por encima de la nominal.
- E) Existe algún problema en las conexiones del transformador.



EXAMEN ESCRITO i: TEORÍA

Apellidos y nombre: _____

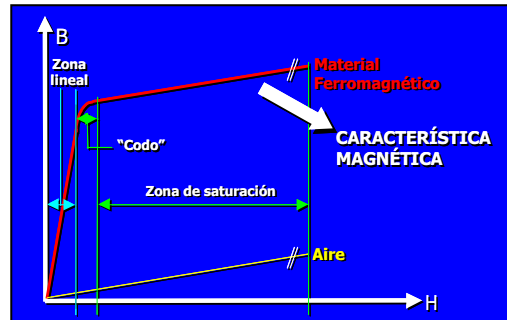
Número de matrícula: _____

DNI: _____

PARTE 2: PREGUNTAS TEÓRICAS (25% del total del examen)

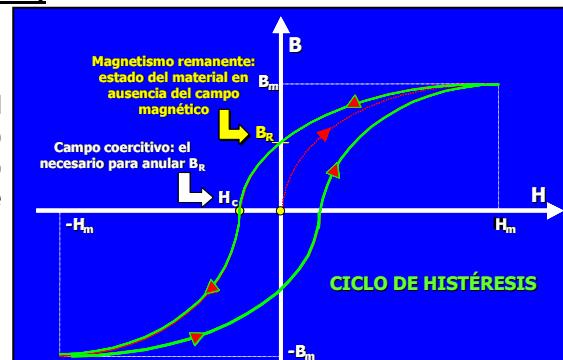
1º) Describa muy brevemente que ocurre con la permeabilidad de un material ferromagnético una vez que se ha saturado. Dibuje la curva B-H. (0,25 PTOS)

La curva BH de los materiales ferromagnéticos no es lineal, presentando una zona de saturación. En dicha zona, la permeabilidad del material es la misma que la del aire.



2º) Defina sobre la curva BH de un material ferromagnético, indicando el ciclo de histéresis, el concepto de magnetismo remanente. (0,25 PTOS)

El magnetismo remanente define el estado del material cuando la intensidad de campo magnético es nula, es decir determina la densidad de flujo remanente dentro del material en ausencia de excitación externa.



3º) Un pequeño transformador perteneciente a un equipo de audio portátil ha sido comprado en Estados Unidos por lo cual sus especificaciones son 125 V – 60 Hz. Razone si sería prudente utilizarlo en una instalación Europea a 240 V. Analice tanto el efecto de la tensión como el de la frecuencia. (0,25 PTOS)

$$E_{\text{ief}} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot S \cdot B_m$$

Al utilizarlo a 240 V (Mayor tensión) y 50 Hz (Menor frecuencia) B_m será mucho más elevado, es decir, el transformador se saturará. Por este motivo no debería ser utilizado en una red Europea a 240 V, al margen de las consideraciones que se podrían hacer sobre el hecho de que el aislamiento soporte casi el doble de tensión. Respecto a las pérdidas, las de histéresis crecerán considerablemente por ser

$$P_{\text{Histéresis}} = K \cdot f \cdot B_m^2 \quad (\text{W/Kg})$$

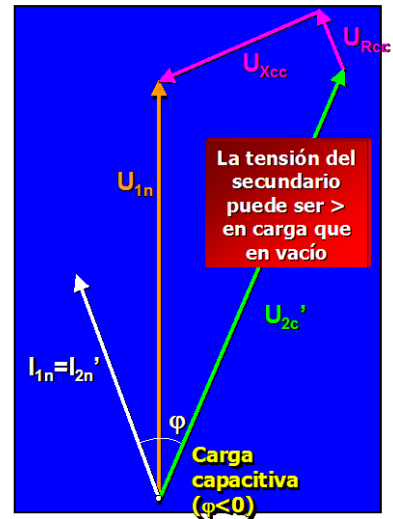
proporcionales al cuadrado del valor máximo de la inducción. Sin embargo las causadas por corrientes parásitas se reducirán

$$\text{Pérdidas por corrientes parásitas: } P_{\text{fe}} = K \cdot f^2 \cdot B_m \quad (\text{W/Kg})$$

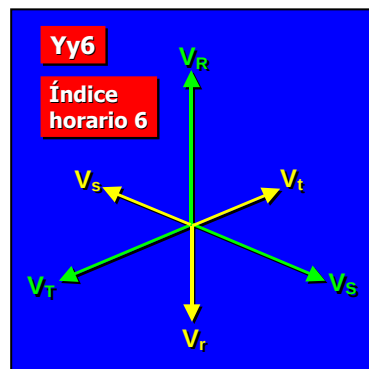


4º) Indique muy brevemente en qué consiste el efecto Ferranti planteando un pequeño diagrama vectorial en el que se muestre.

Cuando el transformador alimenta a una carga capacitiva puede ocurrir que la tensión del secundario sea superior en carga que en vacío



5º) Dibujar los vectores de tensión para el primario y el secundario de un transformador que presente un índice horario Yy6. (0,25 PTOS)



6º) Defina lo que es un autotransformador indicando muy brevemente las ventajas e inconvenientes que presenta frente a una transformador convencional. (0,25 PTOS)

Autotransformador: transformador sin aislamiento galvánico entre primario y secundario obtenido al extraer una toma de un punto intermedio de un único devanado.

Ventajas: ahorro de conductor, circuito magnético de menores dimensiones, disminución de pérdidas eléctricas y magnéticas, menor flujo de dispersión y corriente de vacío, mejor refrigeración.

Inconvenientes: pérdida del aislamiento galvánico primario/secundario, mayor corriente de cortocircuito, necesidad de incluir más protecciones

7º) Explique muy brevemente qué fenómenos pueden ocurrir en un transformador de corriente si el secundario se deja en circuito abierto. (0,25 PTOS)

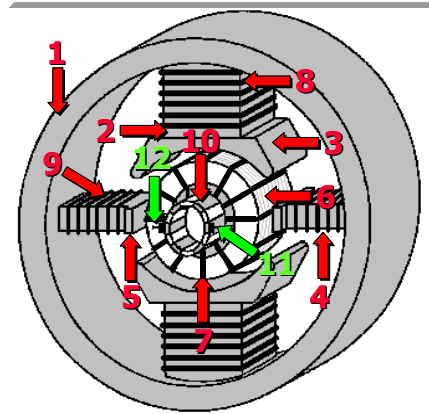
Los transformadores de intensidad deben trabajar en condiciones próximas al cortocircuito. En el caso de extremo de que el transformador trabaje con el secundario en circuito abierto pueden ocurrir los siguientes fenómenos:

- Saturación del transformador y por tanto invalidez de la medida de corriente.
- Posible aparición de elevadas tensiones en el secundario del transformador con el consecuente peligro para personas e instalaciones.



8º) Sobre el esquema simplificado de la figura que representa a una máquina de CC indique las partes que la integran (0,25 PTOS)

1. Culata
2. Núcleo polar
3. Expansión polar
4. Núcleo del polo auxiliar o de conmutación
5. Expansión del polo auxiliar o de conmutación
6. Núcleo del inducido
7. Arrollamiento de inducido
8. Arrollamiento de excitación
9. Arrollamiento de conmutación
10. Colector
11. – 12. Escobillas



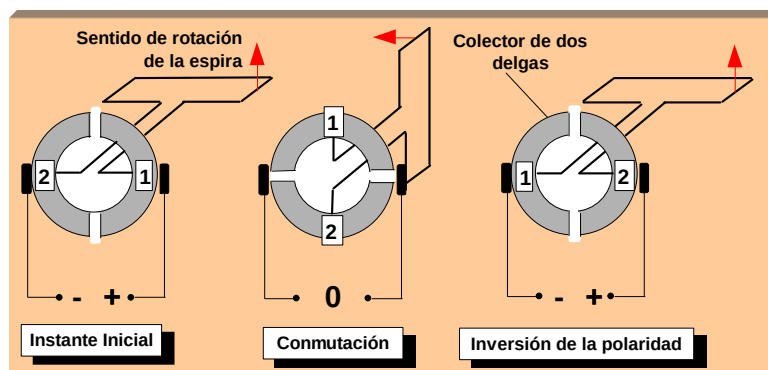
9º) En un motor de CC el flujo en el entrehierro vale 100 mWb. Sabiendo que la máquina tiene 2 pares de polos, 300 espiras en 3 grupos de 100 en paralelo y consume una corriente de inducido de 10 A en condiciones nominales, calcular el par nominal que es capaz de entregar. (0,25 PTOS)

Se aplica directamente la expresión que permite calcular el par total creado por una máquina de corriente continua. El resultado es de 127 Nm

$$T_{\text{TOTAL}} = \frac{2P \cdot N}{\pi \cdot a} \cdot \phi \cdot I$$

10º) Explique muy brevemente la forma de funcionamiento del colector de una máquina de CC. (0,25 PTOS)

La misión del colector consiste en invertir la polaridad de la fem de inducido para convertirla en una magnitud continua mediante la conmutación a través de una serie de delgas aisladas y escobillas. La mejor manera de describir su funcionamiento consiste en hacer su representación gráfica simplificada:



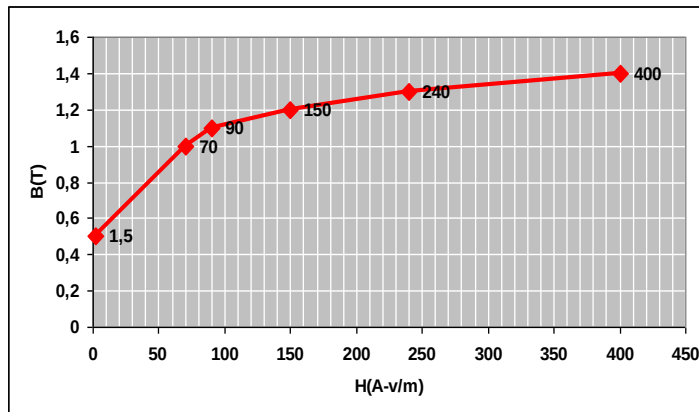


PARTE 3: EJERCICIOS PRÁCTICOS (50% Del total del examen, resolver en hojas aparte)

EJERCICIO 1: En un transformador monofásico de 8 kVA, 50 Hz, 4000/380 V, que responde a los siguientes parámetros de diseño:

- Sección del núcleo= 144 Cm²
- Factor de relleno=0,95
- Longitud media del circuito magnético=1 m
- Valor máximo de la inducción magnética (B_m)=1,32 T

1,5 PTOS



- Curva de magnetización:

B(T)	0,5	1	1,1	1,2	1,3	1,4
H(A-v/m)	1,5	70	90	150	240	400

- Pérdidas totales en el hierro: $P_{fe} = 0,0012 \cdot B_m^2 \cdot f^{1,65}$ (W/kg)
- Densidad del hierro (ρ_{fe}): 7800 Kg/m³

DETERMINAR:

- Lecturas de los aparatos de medida durante el ensayo de vacío

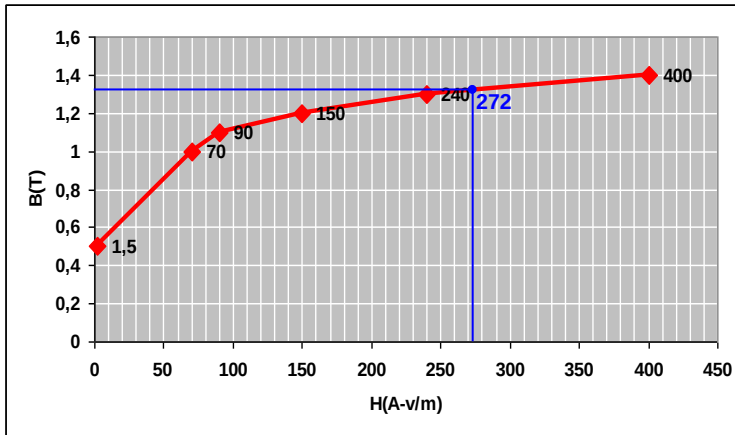
SOLUCIÓN

El ensayo de vacío del transformador se realiza aplicando la tensión nominal al primario y dejando el secundario en circuito abierto. En estas condiciones se cumple para la tensión del primario la siguiente relación: $U_{1ef} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot S \cdot B_m$. De esta ecuación el único dato que se desconoce y, por tanto, se puede despejar es el número de espiras del primario. Para hacerlo hay que tener en cuenta que al área del núcleo hay que aplicarle el factor de relleno, que indica la cantidad de superficie desaprovechada por el aislamiento entre las chapas magnéticas, es decir: $S = 0,0144 \cdot 0,95$. Entonces:

$$N_1 = \frac{4000}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,32 \cdot 0,0144 \cdot 0,95} = 988 \text{Espiras. Conocido el número de espiras del primario y}$$

los valores de la inducción magnética y la intensidad de campo magnético (valores de la curva BH) es posible calcular la componente magnetizante de la corriente de vacío (I_μ) aplicando el Teorema de Ampere ($N \cdot i(t) = H(t) \cdot l$).

Al valor máximo de la inducción con la que trabaja el transformador (B_m) le corresponde el valor máximo de la intensidad de campo magnético H_m , interpolando sobre la curva BH (tomando como dato de partida $B_m=1,32$ T) se obtiene la intensidad de campo magnético máxima.



El valor obtenido para H_m es de 272 A-v/m. Aplicando ahora el teorema de Ampere:

$N_1 \cdot I_\mu = H_m \cdot l$, donde l es la longitud media del circuito magnético.

Es importante recordar que mediante el Teorema de Ampere la corriente que se podrá calcular es la componente magnetizante de la corriente de vacío del transformador, ya que ésta es la que está ligada al flujo magnético. **No se debe cometer**

el error de pensar que la corriente que se obtiene del Teorema de Ampere es la corriente total de vacío, ya que ésta incluye la componente de pérdidas.

Despejando I_μ de la expresión anterior: $I_\mu = \frac{272 \cdot 1}{998} = 0,272 \text{ A}$. Este valor es el **VALOR MÁXIMO** de la componente magnetizante de la corriente de vacío. El valor eficaz será por tanto:

$$I_{\mu \text{ef}} = \frac{0,272}{\sqrt{2}} = 0,193 \text{ A}.$$

Ahora se calculará la componente de pérdidas de la corriente de vacío utilizando la ecuación matemática suministrada en el enunciado del problema. Para hacerlo debe tenerse en cuenta que la relación anterior es una fórmula experimental (suministrada por el fabricante) que incluye la totalidad de las pérdidas en el hierro (histéresis y corrientes parásitas):

$P_{fe} = 0,0012 \cdot B_m^2 \cdot f^{1,65} \text{ (W/kg)}$. Puesto que en esta ecuación se obtienen las pérdidas por unidad de masa del núcleo, será necesario calcular la masa total de material magnético que tiene el transformador:

$\text{masa}_{fe} = S \cdot l \cdot \rho_{fe} = 0,0144 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 7800 = 106,7 \text{ Kg}$. En la expresión anterior también se debe incluir el factor de relleno para considerar la sección real de material magnético.

$P_{fe} = 0,0012 \cdot 1,32^2 \cdot 50^{1,65} \cdot 106,7 = 141,8 \text{ W}$. A partir de este dato es posible calcular la componente de pérdidas de la corriente de vacío:

$P_{fe} = U_{in} \cdot I_{fe}$, por tanto: $I_{fe} = \frac{141,8}{4000} = 0,0355 \text{ A}$. La corriente total de vacío se podrá calcular

entonces como: $I_0 = \sqrt{I_{fe}^2 + I_\mu^2} = 0,196 \text{ A}$. Como respuesta a la pregunta del problema que planteaba cuáles serían las indicaciones de los aparatos en el ensayo de vacío, la respuesta correcta es:

- El amperímetro indicaría la corriente de vacío: **0,196 A**
- El vatímetro indicaría las pérdidas totales en el hierro: **141,8 W**



EJERCICIO 2: De un transformador trifásico de 1500 kVA, 50 Hz, conexión Yd, de 66/33 kV, se sabe que cuando alimenta a una carga trifásica equilibrada con factor de potencia 0,8 inductivo el rendimiento máximo ($\eta_{\max}$) que presenta es de 0,97 para un índice de carga $C=0,7$. En estas condiciones la tensión en bornes del secundario es de 31,5 kV.

1,75 PTOS

DETERMINAR:

- Pérdidas en el hierro, y en el cobre cuando trabaje a plena carga y con factor de potencia 0,9 inductivo.

La potencia suministrada por el transformador a través del secundario, en unas ciertas condiciones de carga, se puede calcular como: $P_2 = \sqrt{3} \cdot U_{2\text{clínea}} \cdot I_{2\text{clínea}} \cdot \cos\phi$ donde ($U_{2\text{clínea}}$ e $I_{2\text{clínea}}$ son las tensiones y corrientes de línea que aparecen en el secundario del transformador para las condiciones de carga en las que se esté trabajando).

Puesto que el índice de carga C se puede definir como $C = \frac{I_{2\text{clínea}}}{I_{2\text{n línea}}}$, la corriente del secundario

se puede determinar como: $I_{2\text{clínea}} = C \cdot I_{2\text{n línea}}$. De este modo, la potencia suministrada por el transformador en el secundario se convierte en: $P_2 = C \cdot \sqrt{3} \cdot U_{2\text{clínea}} \cdot I_{2\text{n línea}} \cdot \cos\phi$.

En este caso, la corriente nominal del secundario del transformador se puede obtener a partir de su potencia nominal: $S_n = \sqrt{3} \cdot U_{2\text{n línea}} \cdot I_{2\text{n línea}}$ y por lo tanto:

$$I_{2\text{n línea}} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{2\text{n línea}}} = \frac{15 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 33 \cdot 10^3} = 26,24 \text{ A}.$$

Conocida la corriente es posible determinar P_2 , ya que la tensión en carga es conocida (31,5 kV), el índice de carga correspondiente es conocido (0,7), y el factor de potencia de la carga es conocido (0,8 ind.): $P_2 = 0,7 \cdot \sqrt{3} \cdot 31500 \cdot 26,24 \cdot 0,8 = 8018 \text{ kW}$. Una vez calculada la potencia suministrada por el secundario, es posible determinar las pérdidas ya que se conoce el rendimiento máximo que el transformador presenta para esas condiciones de trabajo:

El rendimiento del transformador es: $\eta = \frac{P_{\text{cedida}}}{P_{\text{absorbida}}} = \frac{P_2}{P_1}$. Considerando que P_2 es:

$P_1 = P_2 + P_{\text{fe}} + P_{\text{cu}}$, el rendimiento puede calcularse como: $\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{fe}} + P_{\text{cu}}}$. A partir de esta

ecuación se puede despejar: $P_{\text{fe}} + P_{\text{cu}} = \frac{P_2 - P_2 \cdot \eta}{\eta} = \frac{P_2 - P_2 \cdot 0,97}{0,97} = 24,8 \text{ kW}$.

Las pérdidas en el hierro cumplen: $P_0 = P_{\text{fe}}$ donde P_0 son las pérdidas medidas durante en ensayo de vacío.

Por otro lado, para un índice de carga C se cumple que: $P_{\text{cu}} = C^2 \cdot P_{\text{cc}}$, donde P_{cc} son las pérdidas en condiciones nominales. Por tanto, las pérdidas totales, es decir los 248 kW calculados anteriormente, cumplen: $24,8 = 0,7^2 \cdot P_{\text{cc}} + P_0$

Puesto que según los datos del problema el transformador está trabajando con el rendimiento máximo, y en las condiciones de rendimiento máximo se cumple que: $C_{\eta_{\max}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{\text{cc}}}}$, o lo que es

equivalente: $C_{\eta_{\max}}^2 \cdot P_{\text{cc}} = P_0$. Entonces: $0,7^2 \cdot P_{\text{cc}} = P_0$ ----- (1).



Sustituyendo en la ecuación anterior: $24,8 = 2 \cdot P_0 \rightarrow P_0 = 12,4 \text{ kW}$. Por lo tanto, las pérdidas en el hierro y en el cobre cuando el transformador trabaja con un índice de carga de 0,7 y un factor de potencia 0,8 inductivo serán iguales y de valor 12,4 kW.

En problema se pedía determinar el valor de las pérdidas cuando el transformador trabaja con factor de 0,9 e índice de carga unidad. El resultado anterior permite determinar las pérdidas **con sólo razonar su dependencia del índice de carga y del factor de potencia**:

A) Las pérdidas en el hierro se consideran iguales a las pérdidas en vacío, por este motivo, serán las mismas que para el índice de carga de 0,7 y el factor de potencia 0,8 inductivo, **ya que la carga aplicada al transformador no las hace variar**.

B) Las pérdidas en el cobre del transformador no dependen del $\cos\phi$, sino del índice de carga, ya que se obtienen como: $P_{cu} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2' \cdot I_2'^2 \cong R_{cc} \cdot I_1^2 = R_{cc} \cdot I_{1n}^2 \cdot C^2 = P_{cc} \cdot C^2$. Entonces con el 90% de carga y factor de potencia 0,9 las pérdidas en el cobre serán: $0,9^2 \cdot P_{cc}$. despejando P_{cc} de (1): $P_{cc} = \frac{P_0}{0,7^2} = 25,3 \text{ kW}$.

EJERCICIO 3: Un transformador trifásico de 10.000 kVA, 50 Hz, 132/66 kV y conexión Dy dio en los ensayos de vacío y cortocircuito los siguientes resultados:

- Ensayo de vacío lado de BT: $U=66 \text{ kV}$, $I=4 \text{ A}$, $P=50 \text{ kW}$
- Ensayo de cortocircuito lado de BT: $U=2250 \text{ V}$, $I=44 \text{ A}$, $P=30 \text{ kW}$

1,75 PTOS

DETERMINAR:

1. Parámetros del circuito equivalente referido al primario (R_{fe} , X_{μ} , R_{cc} y X_{cc}).

El ensayo de vacío está realizado por el secundario, por tanto:

$$\frac{P_0}{3} = \frac{\left[\frac{U_{2n}}{\sqrt{3}} \right]^2}{R_{fe}} \rightarrow R_{fe} = \frac{U_{2n}^2}{P_0} = \frac{66000^2}{50000} = 87120 \Omega$$

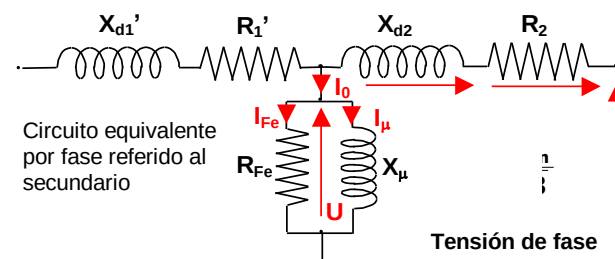
La resistencia de pérdidas en el hierro obtenida de este modo estará referida al secundario. Como se pretende calcular el circuito equivalente reducido al primario es necesario multiplicar por r_t^2 : $R_{fe}^1 = R_{fe} \cdot r_t^2 = 87120 \cdot 4 = 348788 \Omega$.

$$\text{Por otro lado: } P_0 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_0 \cdot \cos\phi_0 \rightarrow \cos\phi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_0} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 66000 \cdot 4} = 0,109$$

$$\text{Entonces: } I_{fe} = I_0 \cdot \cos\phi_0 = 4 \cdot 0,109 = 0,436 \text{ A}$$

$$I_{\mu} = I_0 \cdot \sin\phi_0 = 3,98 \text{ A}$$

Una vez que se conocen las dos componentes de la corriente de vacío es posible determinar el valor de la reactancia magnetizante de una forma casi directa:



Este esquema muestra el circuito equivalente del transformador durante el ensayo de vacío realizado por el secundario. Puesto que se trata de un equivalente entre fase y neutro, la tensión que lo alimenta será la de fase es decir, **habrá que dividir la tensión nominal por $\sqrt{3}$** .



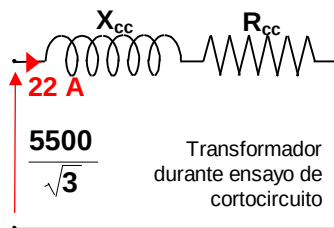
Obsérvese que se han marcado con ' las variables del primario, ya que en esta ocasión el ensayo se realizó por el secundario y, por este motivo, las variables que se deduzcan de él estarán reducidas a este devanado.

Si en el circuito anterior, dado que sólo circula la corriente de vacío, se supone que la tensión U coincide con la de alimentación del transformador, la reactancia de magnetización se puede

$$\text{obtener directamente: } X_{\mu}' = \frac{U_{2n}}{I_{\mu}} = \frac{66000}{3,98} = 9574 \Omega.$$

Esta reactancia está referida al secundario, para referirla al primario hay que multiplicarla por r_t^2 :
 $X_{\mu}^1 = X_{\mu}' \cdot r_t^2 = 9574 \cdot 4 = 38296 \Omega.$

Ahora se calcularán la resistencia R_{cc} y la reactancia X_{cc} . En este caso, se utilizará el ensayo de cortocircuito.



En el cálculo se despreciará la rama en paralelo al considerar que durante el ensayo de cortocircuito la corriente que circula por esta rama es muy baja (la tensión es muy reducida, por tanto, el flujo será bajo y la corriente de magnetización también).

$$P_{cc} = \sqrt{3} \cdot U_{cc} \cdot I_{cc} \cdot \cos \phi_{cc} \rightarrow \cos \phi_{cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U_{cc} \cdot I_{cc}}$$

$$\cos \phi_{cc} = 0,174.$$

Por otro lado, la potencia también puede calcularse como:

$$P_{cc} = 3 \cdot R_{cc} \cdot I_{cc}^2 \rightarrow R_{cc} = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I_{cc}^2} = \frac{30000}{3 \cdot 44^2} = 5,16 \Omega.$$

La reactancia se podrá obtener como: $X_{cc} = R_{cc} \cdot \tan \phi_{cc} = 29,20 \Omega.$

Estos valores están referidos al secundario. Para referirlos al primario hay que multiplicar por la relación de transformación al cuadrado. Se obtiene en ese caso:

$$R_{cc}^1 = R_{cc} \cdot r_t^2 = 5,16 \cdot 4 = 20,64 \Omega$$

$$X_{cc}^1 = X_{cc} \cdot r_t^2 = 29,20 \cdot 4 = 116,8 \Omega$$