

4 - DESARROLLO DE UN MOTOR LINEAL TUBULAR BIFÁSICO (M-2)

4.1- Construcción de un prototipo de motor lineal para adquisición y posterior discusión de datos.

En estudios anteriores [2] se estudió el efecto de refrigeración directa de los conductores por su interior, esto obligó a trabajar con conductores de cobre tubulares.

Por la experiencia acumulada por el equipo en el trabajo citado, se hace un nuevo diseño con un inducido similar, pero cambiando el inductor y su proceso constructivo:

- ? Conductores planos paralelos, tan cercanos al inducido como sea posible (minimizando el entrehierro).
- ? La refrigeración será indirecta por agua circulante por el entrehierro.
- ? Para simplificar el bobinado al máximo se realiza un devanado bifásico con una espira por polo y fase.
- ? El inductor es unilateral con las espiras en serie accesibles sólo por los extremos del inductor.
- ? El paso polar es del orden del centímetro.

Se pretende ver la eficacia de la refrigeración y el efecto tractor sobre un tubo de material conductor (aluminio).

El procedimiento constructivo es muy simplificado y fácil de construir por inyección.

Se utiliza la misma fuente de corriente empleada en el trabajo de R.Grau, TS-LAME (Banco de tres transformadores monofásicos de 3 x 80 kVA de potencia y 8 kA de corriente nominal).

Se pretende hacer un paso polar lo más corto posible, por lo que se eliminarán los dientes y en prototipos posteriores se ensayarán otros sistemas antes de verificar el funcionamiento y el análisis paramétrico.

Se pretende construir una máquina lineal tubular bifásica siendo el inducido un tubo de aluminio con las características siguientes:

Potencia útil:	4 kW
Rendimiento, η :	50%
Tensión, U_1 :	8 V

cos ϕ :	0,5
m_1 :	2
Frecuencia f:	50 Hz
Longitud inductor, L:	0,24 m
Diámetro inductor, D:	0,047 m
Velocidad lineal de sincronismo:	1 m/s
Pares de polos, p:	12
Corriente por fase I_1 :	1000 A

δ (entrehierro) = (holgura mecánica + grosor inducido (2 a)) : 7 mm
 2 a: 1,5 mm

4.2- Materiales a emplear

4.2.1 - Circuito eléctrico

4.2.1.1- Inductor

En este prototipo se quiere estudiar la viabilidad de la utilización de los superconductores en los motores lineales $\lambda/7$? $\lambda/8$?. Para ello, el devanado será de un solo conductor, fácilmente sustituible por un superconductor.

Al estar la máquina abierta en los extremos presenta una dificultad añadida por la morfología del citado motor.

Según E.R. Laithwaite el devanado debe estar constituido, como mínimo, por 5 pares de polos para que el comportamiento que tenga la máquina pueda ser considerado como aceptable.

Desde un punto de vista constructivo tenemos:

Bobinado ondulado de una capa (48 ranuras - 24 polos)

Forma: ondulado, de una capa.

Nº de ranuras: $n= 48$

Nº de polos: $2p= 24$

Nº de fases: $m= 2$

Nº de ranuras
por polo y fase: $n_{pf} = n / 2pm = 48 / 24 \cdot 2 = 1$

Nº de bobinas: $B = 24$

Se toman como
principios: $U - 1, V - 3$

Según el criterio constructivo:

La ubicación de los conductores se realizará sobre una barra tubular de hierro macizo (F-111) sin ranurar. Dada la morfología de la barra, la ubicación debería ser mucho más sencilla que en el caso de un motor de tipo rotativo y en el de un motor lineal plano.

Según el criterio eléctrico:

De acuerdo con este punto de vista, el devanado de un motor lineal tubular es el de mejores prestaciones eléctricas frente al de los motores lineales planos o a los rotativos, dado que las cabezas de bobina se reducen a un único conductor que une dos bobinas de dos ranuras diferentes. Para nuestro caso, en el que sólo utilizamos un conductor por ranura, este factor no nos mejora el devanado. Sin embargo, nuestro objetivo no es el de obtener una máquina eléctrica de gran rendimiento, como hemos dicho, sino la puesta a punto de nuevos métodos constructivos.

Según el criterio de la velocidad:

En función del número de polos que afecta al paso polar, y por lo tanto a la velocidad, según la fórmula:

$$V = \frac{L \cdot f}{p} \cdot 2 \cdot p \cdot f \quad (m/s) \quad (3.2.1.1.a)$$

Longitud motor lineal tubular, L : 0,24 m

Frecuencia, f: 50 Hz

Nº de pares de polos, p: 12

Se obtiene una velocidad de sincronismo de 1 m/s. Debido a que sólo queremos medir la fuerza que puede realizar el motor, el inducido puede reducirse a la longitud del inductor.

Adaptación de un devanado de un motor que gira a un motor lineal

El devanado utilizado no es un devanado exclusivo de los motores lineales. Se recurre a la teoría de devanados convencionales y se adapta un devanado convencional siguiendo las pautas más adecuadas desde el punto de vista de rendimiento electromagnético.

Se escoge un devanado ondulado simple por motivos constructivos (fig.70).

Teniendo en cuenta que el prototipo M-2 es lineal tubular y que cada ranura encierra una bobina creando un par de polos, se representa cada bobina en dos ranuras distintas, cuando en realidad está construido en una sola.

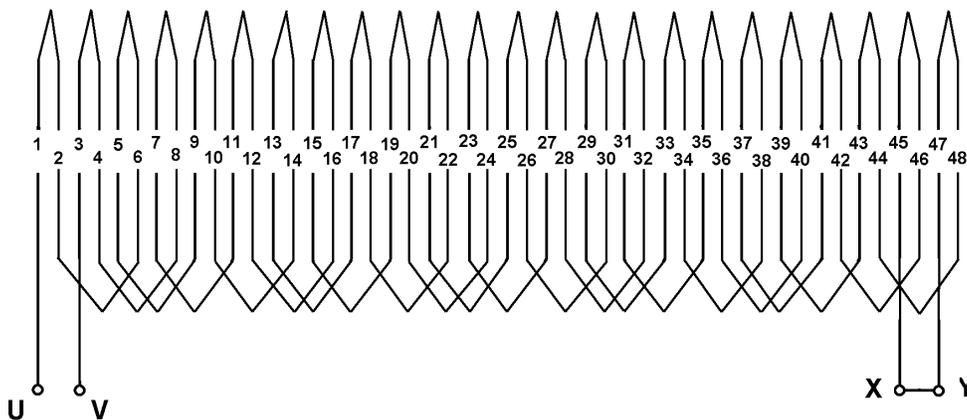


Fig.70: Esquema eléctrico del devanado del motor de inducción lineal tubular bifásico, M-2, ondulado de simple capa.

El material utilizado para realizar el devanado inductor ha sido un tubo de cobre mecanizado (fotos. 11 y 12).

El conductor utilizado se ha obtenido mecanizando una tubería de cobre para la conducción de agua de 40 mm de diámetro con un grueso de la pared de 1 mm, obteniéndose un devanado continuo de 8 mm² de sección.

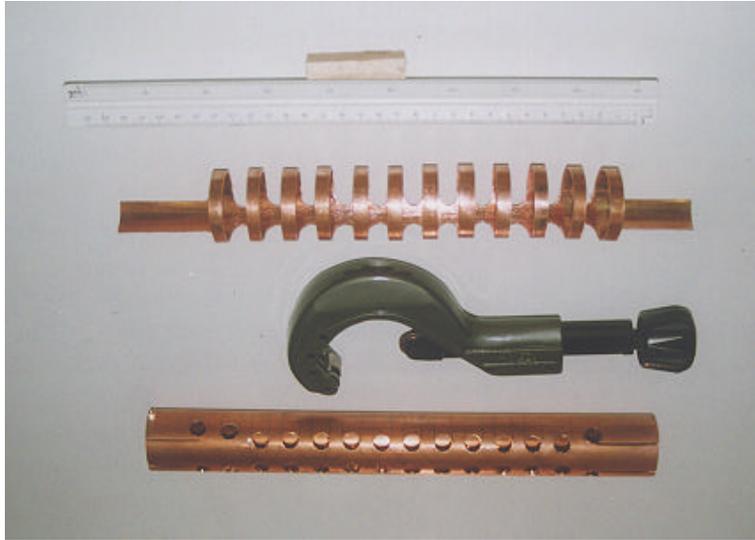


Foto. 11 : Devanados inductores a medio mecanizar del prototipo M-2.

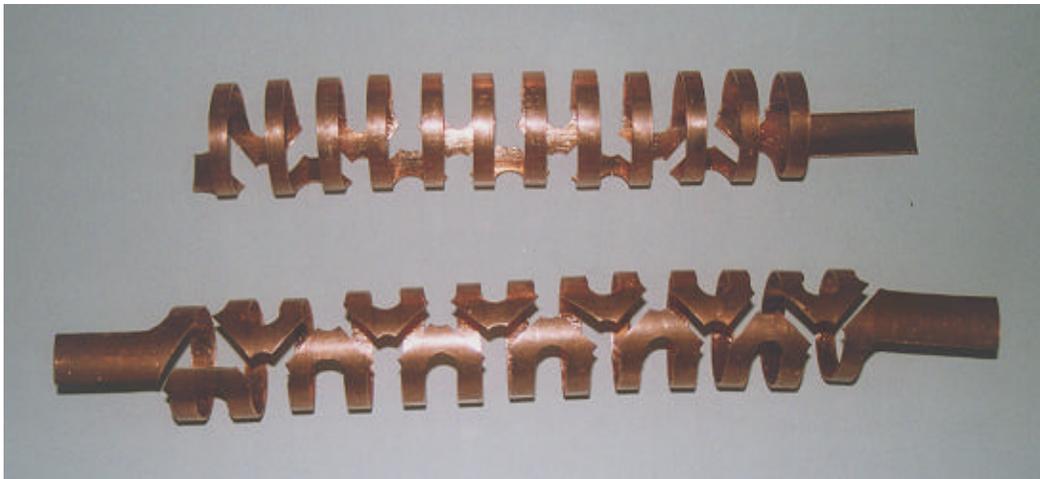


Foto. 12 : Devanados inductores del prototipo M2 mecanizados. Arriba fase R, abajo fase S, antes de sobreponerlos. Obsérvese las cabezas de bobina a 180° geométricos.

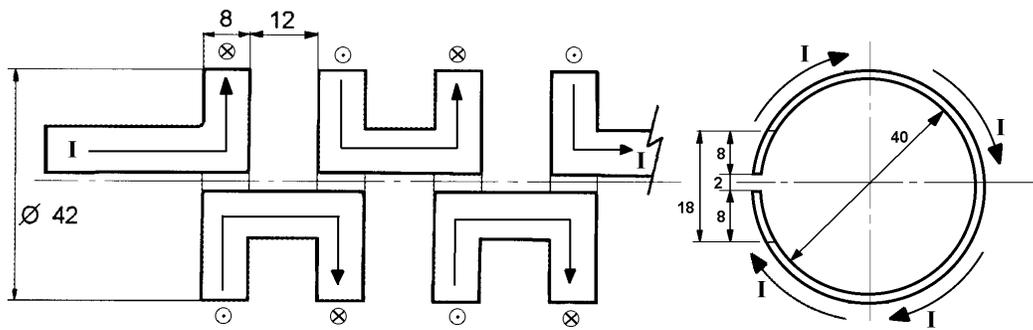


Fig.71: Devanado de una fase (R) del inductor, del prototipo M-2.

El devanado de la fase S llena los huecos que deja el devanado de la fase R

De la figura 71 se deduce que la longitud total de una bobina es de:

$$l = 2 \cdot 21 + 12 = 131,88 + 12 = 143,88 \text{ mm}$$

El devanado del inductor está formado por dos fases, y cada fase está compuesta por 12 bobinas.

La longitud de los extremos para las conexiones es del orden de 50 mm.

$$\text{La longitud total del cobre es: } 12 \cdot 0,14388 + 0,05 = 1,826 \text{ m}$$

Aproximamos a 1,83 m

La sección de la espira es de 8 mm^2 .

Según la ley de ohm:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

(3.2.1.1.b)

R resistencia en Ω

ρ_{20} resistividad a 20°C en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

l longitud en m.

S sección en mm^2

$$\rho_{20} = 1/56 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Teóricamente la resistencia de una fase del inductor:

$$R_1 = 1/56 (1,83/8) = \mathbf{0,00408 \Omega}$$

La caída de tensión que produce esta resistencia vale:

$$U_1 = R_1 I_1 = 0,00408 \times 1000 = 4,08 \text{ V}$$

La permeancia específica del circuito magnético de dispersión, para el tipo de ranura que hemos adoptado vale μ_r :

μ_r Permeancia específica de las ranuras (ver fig.30):

$$\mu_r = \frac{100 h_c}{3 a_r} \quad (\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}) \quad (3.2.1.1.c)$$

μ_r : permeancia específica de las ranuras

h_c : altura del conductor en la ranura

a_r : ancho de la ranura

Para el tipo de ranura que tenemos:

$$\mu_r = \frac{h_c}{3 a_r} = \frac{100}{310} = 3,33 \quad (\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1})$$

μ_d Permeancia específica de las cabezas de diente (ver fig.31):

$$\mu_d = \frac{100 \mu_d}{a_r \mu_d} \quad (\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1}) \quad (3.2.1.1.d)$$

μ_d : permeancia específica de las cabezas de diente

μ_d : entrehierro

a_r : ancho de la ranura

Para las cabezas de diente tenemos:

$$\mu_d = \frac{100 \mu_d}{a_r \mu_d} = \frac{7 \cdot 100}{10 \cdot 0,87} = 45 \quad (\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1})$$

La permeancia específica del circuito de dispersión, despreciando la permeancia de las cabezas de bobinas vale:

$$\mu_x = \mu_r + \mu_d = 3,3 + 45 = 48,3 \quad (\text{WbA}^{-1}\text{m}^{-1})$$

La inductancia de dispersión por fase, resulta :

$$L_x = 8 \cdot 10^{-11} p n_{pf} Z_n^2 \mu_x C \quad (3.2.1.1.e)$$

L_x : inductancia de dispersión por fase en H/fase
 p : pares de polos
 n_{pf} : nº de ranuras por polo y fase
 Z_n : nº de conductores por ranura
 μ_x : permeancia específica en M/Gb/cm
 C : longitud de la ranura en cm

$$C = 2 \cdot 0,021 = 0,13188 \text{ m}$$

$$L_x = 8 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 1,1^2 \cdot 0,483 \cdot 0,13188 \cdot 1,92 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

La reactancia de dispersión por fase, resulta ser:

$$X = 2 \cdot f \cdot L_x = 2 \cdot 50 \cdot 1,92 \cdot 10^{-6} = 0,6028 \cdot 10^{-3}$$

La f.e.m. de dispersión por fase, resulta:

$$E = X \cdot I = 0,6028 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 0,6 \text{ V}$$

Según expresión paramétrica de las caídas ohmicas relativas:

$$\frac{E_1}{U_1} = 1 - \frac{R_1 I_1}{U_1} \cos \phi - \frac{X_1 I_1}{U_1} \sin \phi \quad (3.2.1.1.f)$$

$$E_1 = 8 \cdot 1 \cdot \frac{4,08}{8} \cdot 0,5 - \frac{0,6}{8} \cdot 0,278 = 5,7932 \text{ V}$$

Las cabezas de bobina del motor lineal tubular M-2 plantean el siguiente problema. Debido a la utilización de un conductor plano como bobina, se requiere un espacio grande que hace disminuir la eficiencia de dicho devanado. Como se puede ver en la figura 71 el diámetro del motor lineal tubular es de 42 mm, lo que nos da una longitud de circunferencia de unos 132 mm. Sin embargo, las cabezas de bobina ocupan unos 16 mm de esta longitud a los que hay que sumar unos 2 mm para tener un margen de aislamiento entre las bobinas, o sea 18 mm, lo que representa una pérdida de eficiencia del 13,6 %.

Para reducir el problema se podrían doblar las cabezas de bobina hacia el exterior o hacia el interior en función de donde esté situado el inducido, y de este modo se optimizaría mejor el devanado.

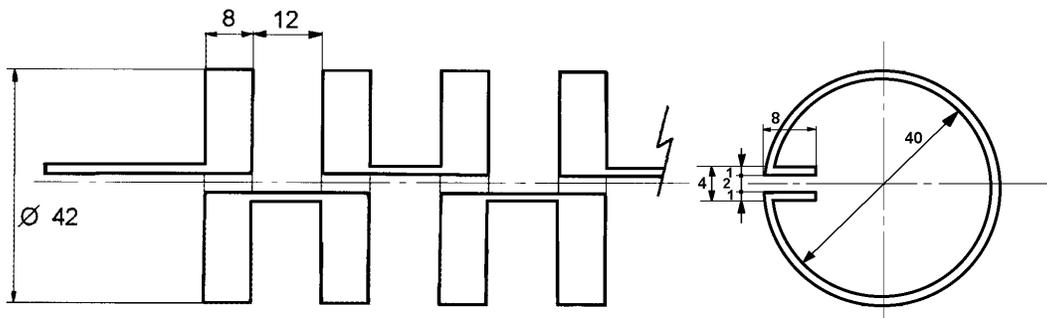


Fig.72: Propuesta de mejora del devanado del inductor, del M-2.

4.2.1.2 - Inducido

El elemento del inducido queda reducido a un tubo conductor continuo que carece de conductores singulares. En cuanto a los materiales que se pueden utilizar hay tres posibilidades: Acero inoxidable, cobre y aluminio.

Se elige aluminio por dos razones:

- ? El mayor poder de disipación de calor del aluminio frente al acero inoxidable.
- ? El aspecto económico, ya que el aluminio resulta más económico que el acero inoxidable y el cobre.

Además el tubo conductor de aluminio es del mismo grueso y diámetro que se usó en el prototipo de Ramón Grau, al que se le llamó "Fénix", por lo que se pueden extrapolar los resultados ??.

La condición técnica que debe cumplir este tubo conductor (fig.72) es la de conducir la corriente eléctrica debida a la reacción del inducido, y la de soportar la fuerza de tracción que aparece, la cual, según el apartado, 4.3.3 es de 20,5 N a la velocidad sincrónica de 1 m/s.

- ? Desde el punto de vista eléctrico interesa que este tubo conductor de aluminio sea lo más grueso posible para disminuir las pérdidas por efecto Joule, y que cubra toda la superficie del inductor o estator.
- ? Desde el punto de vista mecánico también interesa que el tubo sea grueso para soportar los esfuerzos mecánicos que aparecen.
- ? Desde el punto de vista magnético interesa que el tubo conductor sea lo más delgado posible para disminuir el entrehierro, ya que así aumentamos el rendimiento de la máquina.

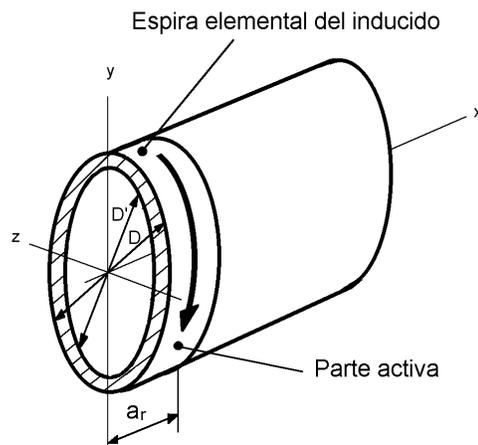


Fig. 73: Tubo - inducido del prototipo M-2

Para el tubo de aluminio:

$Y_B =$ paso de bobina del inductor = paso de bobina del inducido = 20 mm

$$2 a = (D' - D) / 2 = (50 - 47) / 2 = 1,5 \text{ mm}$$

$$c = 2 \cdot ((D' + D) / 2) = 2 \cdot ((50 + 47) / 2) = 305 \text{ mm}$$

Conductividad del tubo de aluminio = 24,6 (S.m/mm²) = 2,46 . 10⁻⁷ (S/m)

Resistividad del tubo de aluminio = 1/24,6 = 0,04065 (? .mm² /m)

Resistencia de la espira teórica elemental del inducido de aluminio:

$$l_{\text{parte activa}} = c = 305 \text{ mm}$$

$$l_{\text{total}} = l_{\text{parte activa}} = 305 \text{ mm}$$

Hemos supuesto que el ancho de la espira elemental del inducido sea igual al ancho de la ranura del inductor que vale $a_r = 8 \text{ mm}$.

Sección de la espira teórica elemental $8 \times 1,5 = 12 \text{ mm}^2$

$$R \approx \frac{l}{S} \approx 0,04065 \frac{\text{m}}{12 \text{ mm}^2} \approx 0,001033 \text{ } \Omega$$

El problema central en el análisis de la máquina de inducción lineal es la determinación de las corrientes del secundario (y el camino de la circulación de estas corrientes), en función de las corrientes o de la tensión de fase del primario.

En el momento del arranque el motor lineal tubular se puede considerar como un transformador con dos primarios de $N_1 = 1$ espira y un secundario de $N_2 = 1$ espira

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_m \text{ (V)}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_2 \cdot \Phi_m \text{ (V)}$$

Φ_m = flujo por polo fundamental

$$k_{f1} = k_{f2} = \text{factor de devanado} = 1$$

Según apartado 4.3.2 con una tensión de 9,4 V y a la frecuencia de 50 Hz en el inductor circulan 900 A, entonces la corriente teórica del inducido en el momento del arranque:

$$I_2 = I_1 \cdot (N_1 / N_2) = 900 (1/1) = 900 \text{ A}$$

El calentamiento de un conductor, vale θ :

$$\theta = \frac{k}{S^2} I^2 \cdot t \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (3.2.1.2.a)$$

θ = calentamiento en grados centígrados

S = sección del conductor en mm^2 .

k = constante del material (0,0135 para el aluminio)

I = corriente en A

t = tiempo de circulación de la corriente en segundos

Esta fórmula sirve con dos condiciones previas:

- 1. Que se desprecia la cesión de calor al ambiente.
- 2. Que el calor específico del material permanece constante, a pesar de la creciente temperatura que toma dicho material.

La sobretemperatura admisible en conductores desnudos de aluminio es de 180°C.

Como se ha dicho antes, hemos supuesto que el ancho de la espira elemental del inducido sea igual a 8 mm. Sin embargo, debido a que esta espira elemental no es discreta, esto no se puede afirmar. Por tanto, la sección de la espira elemental puede ser superior y, como vemos en la fórmula del calentamiento, la sección está afectada por el cuadrado estando en el denominador.

La longitud del inductor es de $l = 0,24$ m, siendo la velocidad teórica del motor lineal M-2 de $V = 0$ m/s. Entonces el tiempo al que está sometido el inducido a esta corriente es el mismo tiempo que el inductor está excitado:

Aplicando la fórmula a nuestro caso durante 1 segundo:

$$\theta = \frac{0,0135}{12^2} 900^2 \cdot 1 = 76^\circ C$$

Como podemos ver podemos trabajar con el prototipo M-2 durante 2,36 segundos, hasta alcanzar la temperatura máxima de 180°C.

4.2.2 - Circuito dieléctrico

4.2.2.1 - Inductor

Antes de colocar el devanado inductor sobre la barra tubular de hierro macizo (F-111) sin ranurar se ha envuelto con fibra de vidrio impregnándola posteriormente de poliéster (foto 13). Una vez seco, se ha colocado un devanado y se ha repetido la operación de cubrir el devanado con otra capa de fibra de vidrio impregnada de poliéster. Una vez seca esta segunda capa, se procede a colocar el segundo devanado repitiéndose la operación anterior de aislamiento y obteniéndose de esta manera un aislamiento total entre devanados y entre devanados y masa.

Debido a que, en lugar de aplicar una fuente de tensión, se aplica una fuente de intensidad al motor, sólo se comprueba el aislamiento con un polímetro, pues las tensiones aplicadas no superan los 15 V y un Meguer podría provocar perforaciones indeseadas.



Foto. 13 : Montaje de los devanados inductores del prototipo M-2 sobre el material ferromagnético y proceso de aislamiento.

4.2.2.2 - Inducido

Se decide no aislar el tubo-inducido ya que el aislamiento del inductor es total y no hay ningún peligro para el manejo del motor.

4.2.3 - Circuito magnético

4.2.3.1 - Excitación necesaria para el prototipo M-2.

Para el prototipo de motor lineal unilateral tubular, M-2, las dimensiones físicas del circuito magnético por polo son:

longitud yugo	$l_y = 5 \text{ mm}$
altura yugo (tubo externo)	$h_{ye} = 3 \text{ mm}$
altura yugo (inductor)	$h_{yi} = 20 \text{ mm}$
altura diente	$h_d = 0 \text{ mm}$
entrehierro	$g = 7 \text{ mm}$

Según apartado 4.2.3.2, consideramos una inducción en el entrehierro de 1,59 T, para la cual se requerirá una excitación de:

$$H_g = H_g \cdot g = (B_g / \mu_0) \cdot g = (800000 \cdot 1,59) \cdot 0,007 = 8904 \text{ A}$$

Excitación para el yugo del tubo exterior:

$$\hat{B}_{ye} = \frac{a_r / 2}{h_{ye}} \hat{B} = \frac{5}{3} 1,59 = 2,65 \quad (T)$$

Con 2,65 T se puede considerar el hierro F-111 saturado.

Excitación para el yugo del inductor:

$$\hat{B}_{yi} = \frac{a_r / 2}{h_{yi}} \hat{B} = \frac{5}{20} 1,59 = 0,3975 \quad (T)$$

Para la conservación del flujo, para tener una inducción de 1,59 T en el entrehierro, hay que mantener 2,65 T en el yugo del tubo exterior y 0,3975 T en el yugo del inductor. Consideramos que le corresponden 50 A/cm en el yugo del inductor, y 150 A/cm en el yugo del tubo exterior:

$$I_{ye} = H_{ye} \cdot (h_{ye}/2 + l_y) = 150 \cdot (0,3/2 + 0,5) = 97,5 \quad A$$

$$I_{yi} = H_{yi} \cdot (h_{yi}/2 + l_y) = 50 \cdot (20/2 + 0,5) = 525 \quad A$$

$$I = H l = I_{ye} + I_{yi} = 97,5 + 525 = 622,5 A$$

$$I = H \cdot l = N \cdot I$$

$$I = 1000 \quad A$$

$$N = \frac{H \cdot l}{I} = \frac{9526,5}{1000} = 9,52 \quad \text{conductores}$$

Como veremos, en la construcción del prototipo sólo se colocará 1 conductor por ranura, lo que, debido al paso de una corriente de 1000 A, ocasionará 1000 A por

conductor, un 10,5% del campo requerido para mantener una inducción de 1,545 T en el entrehierro, lo que se traducirá en una reducción de dicha inducción.

Como el 93,46% de la excitación necesaria se utiliza para mantener la inducción de diseño en el entrehierro, podemos considerar que la inducción varía de forma lineal con la intensidad del campo magnético, H, y este de forma lineal con los conductores. Por lo tanto, si reducimos el 89,5% de los conductores necesarios para mantener la inducción de 1,545 T, la inducción de el entrehierro también se reducirá en la misma proporción:

$$1,545 \cdot 0,105 = 0,162 \text{ T}$$

Teóricamente la inducción en el entrehierro del prototipo M-2 es de 0,162 T.

4.2.3.2- Inductor

El inductor es unilateral interno, ya que la parte activa es la interior, recubierta por el inducido. El cierre de las líneas de fuerza lo realiza un tubo de hierro con unas paredes de 3mm de grueso. Es macizo y no de plancha ya que el campo magnético de trabajo será débil y las pérdidas en el hierro tampoco serán importantes.

El que sea macizo simplifica mucho la construcción en estos momentos.

El estator-inductor del motor tubular bifásico de inducción lineal está constituido por una barra tubular de hierro macizo (F-111) sin ranurar, de 40 mm de diámetro y una longitud de 300 mm., a la que se le ha mecanizado dos agujeros roscados M-12 para mantener las distancias mecánicas entre el inductor y el tubo de hierro y dejar un espacio libre para el inducido.

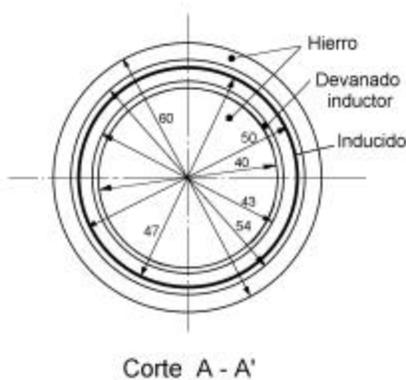
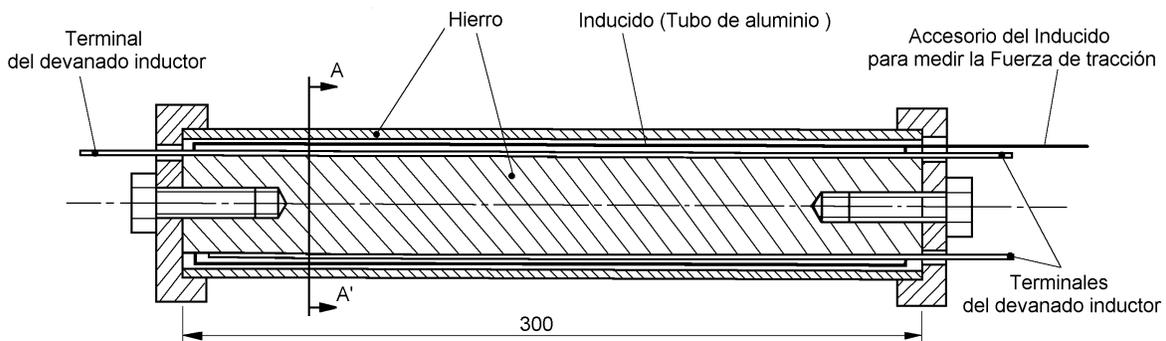


Fig. 74: Motor lineal tubular bifásico, M-2

La inducción teórica de trabajo en el entrehierro según la fórmula del cálculo paramétrico (2.5.a) es de:

$$\hat{B}_? = \frac{E_f}{4,44 f n_{pf} Z_n LD} \cdot \frac{4}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,1 \cdot 0,240,047} \cdot 1,59 \quad (T) \quad (2.5.a)$$

Debido a que el prototipo M-2 no tiene ranuras, tampoco tendrá una discontinuidad del campo magnético en el entrehierro, y no se verá afectada la inducción por el coeficiente de CARTER K_c 18?

Según el apartado 2.1.1 el factor de corrección para la amplitud con entrehierro liso vale $K_M = 1$.

La inducción máxima en el entrehierro pasa a ser:

$$\hat{B}_? ? K_M \hat{B}_? ? 1.1,59 ? 1,59(T)$$

(4.2.3.1.a)

Según el apartado 4.2.3.1, la inducción teórica en el entrehierro, con las correcciones oportunas es de 0,162 T.

4.2.3.3 - Inducido

El circuito magnético del inducido está compuesto por un tubo de aluminio de 47 mm de diámetro interno y de 50 mm de diámetro externo de material conductor. De 1 mm de aire en la parte externa del tubo de aluminio y de 2 mm en la parte externa, (3 mm en total)

Si tenemos en cuenta que el inductor no está ranurado, podemos contar que entre la barra de hierro interna que soporta el devanado inductor y la parte interna del tubo de hierro externo hay una distancia equivalente de aire de 6 mm.

La inducción teórica en el inducido se considera la misma que en el entrehierro, igual a 0,162 T.

4.2.4 - Construcción mecánica (guiado del motor)

4.2.4.1 - Inductor

El inductor y un tubo de hierro que tiene la misión de facilitar el cierre de las líneas de fuerza, y dejar un espacio libre para el inducido, deben quedar sólidamente unidos manteniendo las equidistancias al eje del inductor. Para esto se han mecanizado dos agujeros roscados M-12 en los extremos del inductor para mantener las distancias mecánicas entre el inductor inducido y el tubo de hierro externo. Esto permite esta condición, con las tolerancias correspondientes, y asegura el desplazamiento con una cierta suavidad del inducido.

Estructura soporte

Para la unión del inductor y el tubo externo de hierro se diseña una estructura soporte que sirve para mantener las distancias del entrehierro.

Esta estructura soporte tiene forma de disco. Se escoge PVC, debido a la facilidad de su mecanización.

Las medidas genéricas de esta estructura son: un espesor de 10 mm (con el fin de dar una resistencia mecánica adecuada para el uso) 80 mm de diámetro, al que se

le ha mecanizado un rebaje de 60 mm de diámetro para encajar el inductor en el centro.

A estos discos se les ha practicado unas aperturas para las salidas de los extremos de los devanados y de una parte del inducido para poder medir la fuerza de tracción. Su grueso es de 20 mm por cuestiones mecánicas.

En el centro de los discos soporte de PVC se realizan sendos taladros roscados a métrica 12 para sujetarlos al inductor.

4.2.4.2 - Inducido

La condición mecánica que debe cumplir el tubo de aluminio (inducido) es la de asegurar una buena resistencia mecánica frente a posibles esfuerzos.

El tubo de aluminio es de 50 mm de diámetro externo y 47 mm de diámetro interno y una longitud de 260 mm.

El esfuerzo mecánico que debe soportar el inducido es la fuerza ficticia, que según el apartado 4.3.3 es de 20,5 N a 1m/s, pero que, según el apartado 4.3.2, ha dado un valor de medida de 17,16 N a velocidad cero (en un arranque directo).

4.2.5 - Circuito refrigeración

4.2.5.1 - Inductor

El inductor se refrigera por convección ya que los tiempos de funcionamiento de la máquina hacen que no sea necesario una refrigeración forzada, al trabajar en régimen adiabático.

4.2.5.2- Inducido

El inducido está formado por un tubo de aluminio siendo todo él parte activa. Sin embargo, debido a que no está aislado y a que trabajamos durante tiempos muy cortos, no hay peligro de que se funda el aluminio.