

## CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS CONSTRUIDOS

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MOTORES

Para intentar responder con rigor a las hipótesis planteadas en esta investigación resultaba imprescindible probar los nuevos rotores con diferentes tipos de motores, es decir, estatores. Parecía lógico que la respuesta sería muy diferente dependiendo de la velocidad del motor, por lo que se impuso la necesidad de adquirir varios tipos de motores.

Se planteó, en un principio, cómo podíamos obtener estos motores, ya que cabe recordar que no se ha dispuesto de ningún tipo de subvención o beca para la realización de esta tesis, corriendo los costes de la adquisición del material, de la construcción de prototipos o de la realización de los ensayos, de nuestra cuenta. Con estos condicionantes económicos resultaba imposible adquirir motores contruidos a medida, por lo que éstos deberían ser modelos de fabricación en serie. Una vez tomada la decisión de adquirir motores de fabricados en serie se planteaba una segunda opción: ¿sería mejor comprar los motores con diferentes velocidades o bien resultaría más adecuado comprar todos los motores iguales para después rebobinarlos según nuestras necesidades? Para la correcta comparación de los motores la segunda opción era la más acertada, mientras que económicamente la primera opción no ofrecía discusión. Al final optamos por la segunda opción; o sea, adquirir tres motores de idénticas características y transformarlos después a diferentes velocidades en nuestro propio laboratorio.



Figura 3.1. a) Vista de los tres rotores una vez rebobinados. b) Motores y rotores contruidos.

Esta decisión se tomó después de valorar varios condicionantes. En primer lugar, desde el principio de esta tesis se ha intentado, siempre que ha sido posible, construir personalmente las máquinas empleadas. Si comprábamos los motores iguales, nos obligábamos a rebobinarlos con todo lo que esto conlleva en cuanto a elección del tipo de bobinado, del diámetro del hilo, del número de espiras, del número de capas, etc. Aparte, y mediante la elección del bobinado adecuado era posible equiparar magnéticamente todos los motores. Además, al tener todos los motores la misma superficie exterior, espesor, material, formas constructivas, pesos, etc., mecánica y térmicamente también serían más equivalentes. Finalmente, aunque el presupuesto no debía ser un factor determinante, comprar tres motores de iguales características y rebobinarlos supuso un aumento del coste. En resumen, ésta fue la opción elegida, opción suficientemente digna y fiable para contrastar los resultados con rigor.

Por tanto, se adquirieron tres motores de idénticas características (con cuatro polos), rebobinándose dos de ellos para pasarlos a las velocidades de 1000 rpm y 3000 rpm. Curiosamente, con el único motor original (1500 rpm), cuando ya habíamos realizado todas las pruebas, finalmente también se optó por rebobinarlo, esta vez no para cambiar su velocidad que permaneció inalterable, sino para aumentar su número de espiras por ranura, gracias a lo cual el motor trabajaba mejor magnéticamente mejorándose en conjunto sus resultados.

### 3.1.1 Características principales

Los estatores<sup>(M-10)</sup> disponen de una carcasa formada por inyección de aluminio con un núcleo formado por la unión de chapas magnéticas aisladas de 0.5 mm de espesor con unas pérdidas de 2.0 W/kg por Tesla y de 4.25 W/kg para 1.5 Teslas, configurada para cuatro polos de 36 ranuras, con las siguientes dimensiones: diámetro exterior de 135 mm, diámetro interior de 80 mm y con una longitud del núcleo axial de 70.4 mm.



Figura 3.2. a) Chapa magnética utilizada en el núcleo del estator. b) Corona del estator y bobinas.

Para obtener las diversas velocidades se ha procedido al rebobinado de los estatores adoptándose en todos los casos un bobinado concéntrico por polos a una capa. El tipo de aislamiento térmico obedece a la clase *F*, permitiendo funcionamientos en régimen permanente de hasta 155 °C. Si tenemos presente que la temperatura ambiente de un motor convencional es de 40 °C y que las normas aconsejan dejar un margen de entre 10 a 15 °C, para las posibles fluctuaciones que puedan experimentar la tensión o la carga, nos da un margen de sobrecalentamiento para los motores ensayados del orden de 100 a 105 °C.

Las características principales de los motores originales quedan reflejadas en su placa de características, la cual reproducimos en la siguiente tabla.

<i>Motor 3Ph</i>	<i>TYPE: T 90S-4-AB3</i>		<i>IP55 IS. CL-F IEF 34-1</i>		
<i>Tensión Y/Δ (V)</i>	<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>Intensidad (A)</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>cos φ</i>	<i>Velocidad (rpm)</i>
220-240/380-410	50	4.8/2.8	1.1	0.78	1410
250-280/440-480	50	4.8/2.75	1.3	0.79	1690
<i>Números motores</i>	<i>9122255</i>	<i>9122256</i>	<i>9122257</i>	<i>9122256</i>	

Tabla III.I. Datos técnicos de los motores originales que figuran en sus placas de características.

Como se observa en la tabla anterior, el motor básico escogido es un motor más bien pequeño de 1.5 CV de potencia, creemos que este motor es suficientemente representativo ya que el tipo de rotores investigado en principio trabajarán mejor con pequeñas potencias y altas velocidades, que con grandes sistemas y velocidades normales. Además, con la elección de un motor de estas características queda cubierto un amplio abanico de potencias abarcando desde unos vatios hasta unos kW.

Una de las ventajas de disponer del mismo tipo de motores para todas las velocidades lo constituye el hecho que externamente en cuanto a dimensiones se refiere, todos los motores son idénticos, lo que permite una más fácil representación y modelización de los mismos, diferenciándose únicamente entre ellos por los bobinados interiores adaptados en cada caso al número requerido de polos eléctricos. Así, las dimensiones, formas, detalles y otras características técnicas de todos los motores utilizados pueden representarse en un solo plano, como queda reflejado en la siguiente figura.

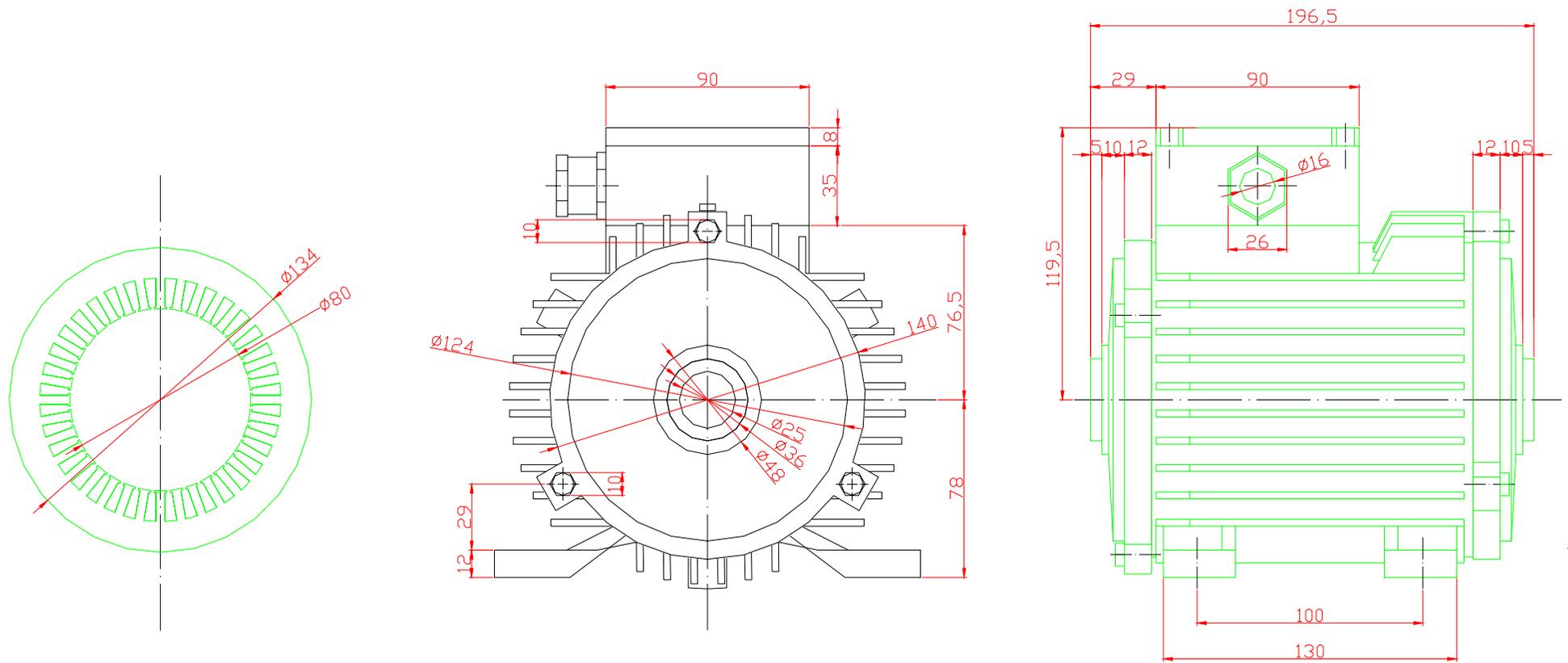


Figura 3.3. Plano del motor básico utilizado para todos los motores empleados.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ESTADORES

En los próximos apartados se realiza una descripción de los estatores utilizados en los ensayos. De cada modelo se detallan sus características principales dadas para el motor con rotor de jaula de ardilla el cual adoptamos como referencia. El cálculo de sus bobinados, su plano en planta y algunas fotos, tanto de los modelos acabados como en periodo de construcción, son también expuestos.

Debe recordarse que las condiciones de funcionamiento de estos estatores no siempre serán las más adecuadas al tener que realizar pruebas con los diversos rotores. Así pueden existir regímenes con sobreintensidades o con temperaturas elevadas que en funcionamientos normales no deberían presentarse. Por este motivo se ha creído conveniente sobredimensionar ligeramente los bobinados para evitar posibles complicaciones durante los ensayos experimentales.

#### 3.2.1 Estator a 1000 rpm

A la hora de rebobinar este motor<sup>{L-30}</sup> para pasarlo de cuatro a seis polos se optó por un número considerable de espiras por ranura, concretamente 100. Asimismo, se ha utilizado un bobinado concéntrico por polos de una capa con 18 bobinas. Con una bobina por grupo y una amplitud del grupo de 4. El diámetro del hilo de cobre escogido es de 0.6 mm con una cubierta esmaltada de 0.05 mm grado 2 y clase *H*.

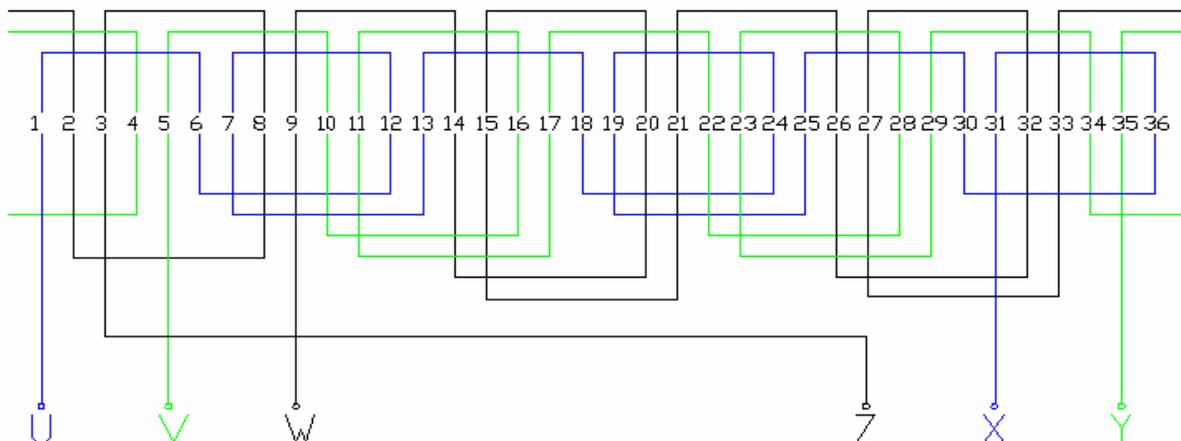


Figura 3.4. Bobinado concéntrico por polos con 18 bobinas correspondiente al motor de 1000 rpm.

Los cálculos de los diferentes parámetros y magnitudes que intervienen en el nuevo motor quedan reflejados en la siguiente tabla, donde en la primera fila se incluye las especificaciones técnicas dadas en la placa del motor en origen<sup>{M-10}</sup>.

<i>Motor 3Ph</i>	<i>TYPE: T 90S-4-AB3</i>	<i>IP55 IS. CL-F IEF 34-1</i>	<i>Número: 9122255</i>
<i>Tipo de bobinado</i>	Bobinado concéntrico por polos con 36 ranuras y 6 polos		
<i>Forma</i>	Concéntrico por polos con bobinas distribuidas en una capa		
<i>Número ranuras</i>	$K=36$		
<i>Número de polos</i>	$2p=6$		
<i>Número de fases</i>	$q=3$		
<i>Número de ranuras por polo y fase</i>	$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{6 \cdot 3} = 2$		
<i>Número de bobinas</i>	$B = \frac{K}{2} = \frac{36}{2} = 18$		
<i>Número de grupos de bobinado</i>	$G = 2pq = 6 \cdot 3 = 18$		

Número de bobinas por grupo	$U = \frac{B}{G} = \frac{18}{18} = 1$
Amplitud del grupo	$M=(q-1) \cdot 2U=(3-1) \cdot 2 \cdot 1=4$
Pasos de bobina	$Y_B=1-6$
Paso de principios	$Y_{120} = \frac{K}{3 \cdot p} = \frac{36}{3 \cdot 3} = 4$
Principios bobinas	$U-1; \quad V-5; \quad W-9$
Tipo hilo	Cobre esmaltado de 0.60mm de diámetro
Inducción en el entrehierro (T)	$B_c = \frac{V_{fase} \cdot p_{pares-polos}}{4.44 \cdot f \cdot D_{rotor} \cdot L_{long-núcleo} \cdot K_{bobinado} \cdot N_{espiras-fase}} = \frac{220 \cdot 3}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.08 \cdot 0.0704 \cdot 0.966 \cdot 6 \cdot 100} = 0.91075T$
Inducción en la corona (T)	$B_c = \frac{1.05 \cdot D_{rotor}}{p_{polos} \cdot h_{caarcasa}} \cdot B_e = \frac{1.05 \cdot 80}{6 \cdot 12} \cdot 0.91075 = 1.0625T$
Espiras por bobina	$N_e = 100$
Velocidad (rpm)	$N=930$ (930 valor real experimental)
Frecuencia (Hz)	50 (50 valor real experimental)
Tensión Y-Δ (V)	220-240/380-410
Potencia útil (CV/W)	0.75/550 (550 valor real experimental)
Potencia total (W)	820 valor real
Intensidad Y-Δ (A)	1.9-3.3 (1.8-3.3 valor real experimental)
Par nominal (N·m)	$T_n = \frac{P_{util}}{n \cdot \frac{2\pi}{60}} = \frac{550}{930 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 5.65$ (5.6 valor real experimental)
Cos φ	0.67 (0.69 valor real experimental)
Rendimiento (%)	65.0 valor real experimental
Par/In (N·m/A)	3.05 valor real experimental
Par/Pabs (N·m/W)	0.00668 valor real experimental

Tabla III.II. Datos técnicos del motor de 1000 rpm con rotor de jaula de ardilla.

Además de conseguir la nueva velocidad se ha pretendido, con la elección del tipo de bobinado, del número de espiras por ranura y del diámetro del hilo, conseguir que los valores obtenidos en los ensayos de laboratorio sean prácticamente iguales a los valores oficiales dados para este tipo de motores. Se incluyen en la tabla otras magnitudes halladas en el laboratorio aparte de las correspondientes a la placa de características.

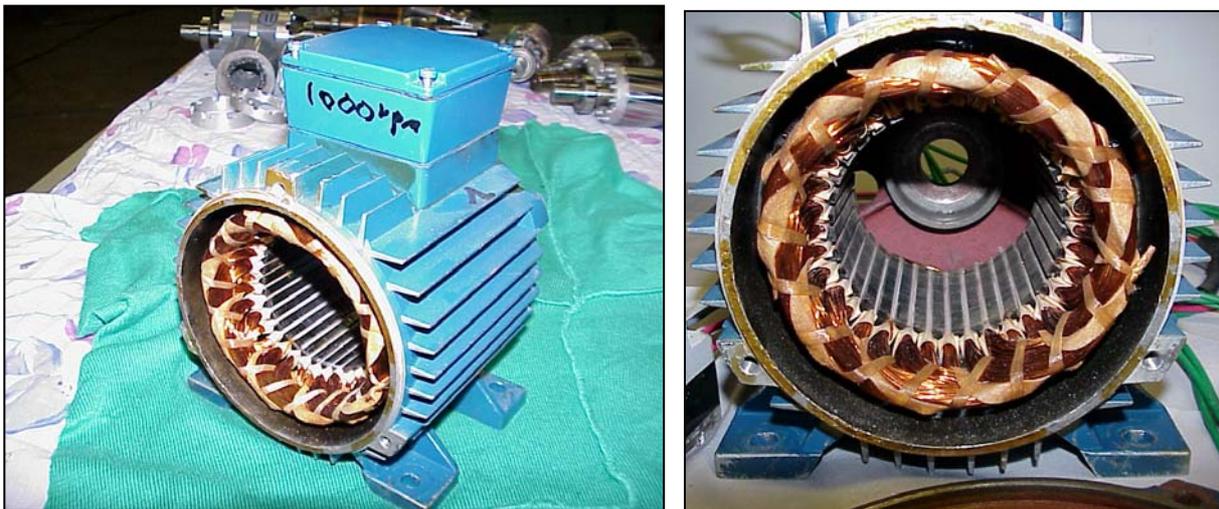


Figura 3.5. Vistas del motor bobinado a 1000 rpm. Obsérvese la configuración del bobinado.

Las inducciones en el entrehierro y en la cabeza de la corona se mantienen dentro de valores muy aceptables, asegurando que el motor responderá magnéticamente sin problemas de saturación en un amplio margen de funcionamiento. Algunos otros datos técnicos se añaden en la tabla precedente.

### 3.2.2 Estator a 1500 rpm

Este es el único motor no modificado, aprovechándose las especificaciones técnicas que figuraban en su placa de características. El bobinado que incorporaba es concéntrico con polos consecuentes de una capa. El número de espiras por ranura es bastante bajo, concretamente 62, lo que originó en según que régimen de funcionamiento problemas de saturación magnética que a la larga obligaron a un nuevo rebobinado para conseguir el mismo número de revoluciones pero con diferentes características magnéticas.

Como se aprecia en la siguiente figura el bobinado<sup>{L-30}</sup> consta de 18 bobinas agrupadas en 6 grupos por lo que el número de bobinas por grupo será de 3, con una amplitud del grupo de 6. El diámetro del hilo de cobre escogido es de 0.65 mm con una cubierta esmaltada de 0.05 mm grado 2, clase *H*. Con estas características aseguramos su perfecto funcionamiento en las condiciones adversas en las que en ocasiones deberán efectuarse las pruebas.

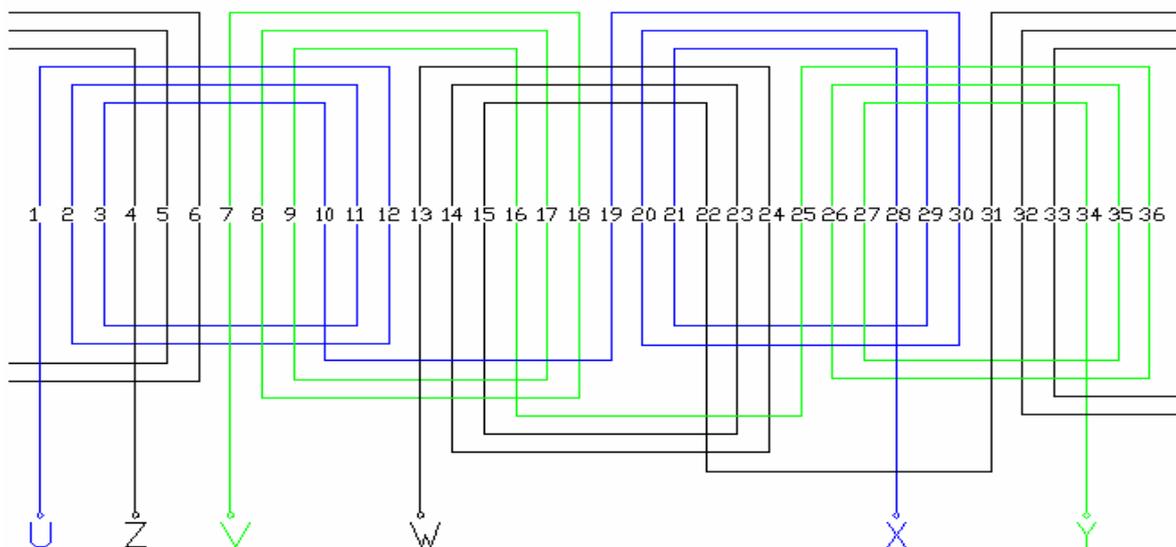


Figura 3.6. Bobinado concéntrico por polos con 18 bobinas correspondiente al motor de 1500 rpm.

Sin realizar ningún cambio en el estator, una vez efectuados los ensayos experimentales, se comprobó, como no podía ser de otra forma, que los valores coincidían con los de la placa de características. En la tabla se han añadido algunas magnitudes importantes, halladas también en los ensayos, para tener un mayor conocimiento de la respuesta de este motor.

Los cálculos de los diferentes parámetros y magnitudes que intervienen en este motor quedan reflejados en la siguiente tabla, donde en la primera fila se incluye las especificaciones técnicas dadas en la placa de características<sup>{L-30}</sup>.

<b>Motor 3Ph</b>	<b>TYPE: T 90S-4-AB3</b>	<b>IP55 IS. CL-F IEF 34-1</b>	<b>Número: 9122256</b>
<b>Tipo de bobinado</b>	Bobinado concéntrico por polos consecuentes con 36 ranuras y 4 polos y una capa		
<b>Forma</b>	Concéntrico por polos consecuentes con bobinas agrupadas		
<b>Número ranuras</b>	$K=36$		
<b>Número de polos</b>	$2p=4$		
<b>Número de fases</b>	$q=3$		
<b>Número de ranuras por polo y fase</b>	$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$		

Número de bobinas	$B = \frac{K}{2} = \frac{36}{2} = 18$
Número de grupos de bobinado	$G = 2pq = 2 \cdot 3 = 6$
Número de bobinas por grupo	$U = \frac{B}{G} = \frac{18}{6} = 3$
Amplitud del grupo	$M = (q-1) \cdot 2U = (3-1) \cdot 3 = 6$
Pasos de bobina	$Y_{1B} = 1-12 \quad Y_{2B} = 2-11 \quad Y_{3B} = 3-10$
Paso de principios	$Y_{120} = \frac{K}{3 \cdot p} = \frac{36}{3 \cdot 2} = 6$
Principios bobinas	$U-1; \quad V-7; \quad W-13$
Tipo hilo	Cobre esmaltado de 0.65 mm de diámetro
Inducción en el entrehierro (T)	$B_c = \frac{V_{fase} \cdot p_{\text{pares-polos}}}{4.44 \cdot f \cdot D_{rotor} \cdot L_{\text{long-núcleo}} \cdot K_{\text{bobinado}} \cdot N_{\text{espiras-fase}}} = \frac{220 \cdot 2}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.08 \cdot 0.0704 \cdot 0.96 \cdot 6 \cdot 62} = 0.9854T$
Inducción en la corona (T)	$B_c = \frac{1.05 \cdot D_{rotor}}{p_{\text{polos}} \cdot h_{\text{carcasa}}} B_e = \frac{1.05 \cdot 80}{4 \cdot 12} \cdot 0.9854 = 1.7245T$
Espiras por bobina	$N_e = 62$
Velocidad (rpm)	$n = 1410$ (1410 valor real experimental)
Frecuencia (Hz)	50 (50 valor real experimental)
Tensión Y-Δ (V)	220-240/380-410
Potencia útil (CV/W)	1.5/1100 (1105 valor real experimental)
Potencia total (W)	1550 valor real
Intensidad Y-Δ (A)	2.8-4.8 (2.75-4.75 valor real experimental)
Par nominal (N·m)	$T_n = \frac{P_{\text{util}}}{n \cdot \frac{2\pi}{60}} = \frac{1100}{1410 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 7.45$ (7.6 valor real experimental)
Cos φ	0.78 (0.80 valor real experimental)
Rendimiento (%)	71.8 valor real experimental
Par/In (N·m/A)	1.72 valor real experimental
Par/Pabs (N·m/W)	0.0048 valor real experimental

Tabla III.III. Datos técnicos del motor a 1500 rpm con rotor de jaula de ardilla.

Las inducciones en el entrehierro y en la cabeza de la corona se mantienen dentro de valores aceptables, aunque algo altos, lo que provocó que una vez terminados todos los ensayos, tanto eléctricos, como térmicos y mecánicos y, comprobados sus resultados mediante programas de elementos finitos vimos que este motor en algunos regímenes impuestos por los ensayos con los rotores de chapas adolecían de una cierta saturación magnética, lo que aconsejaba rebobinar el motor para intentar rebajar estos valores.

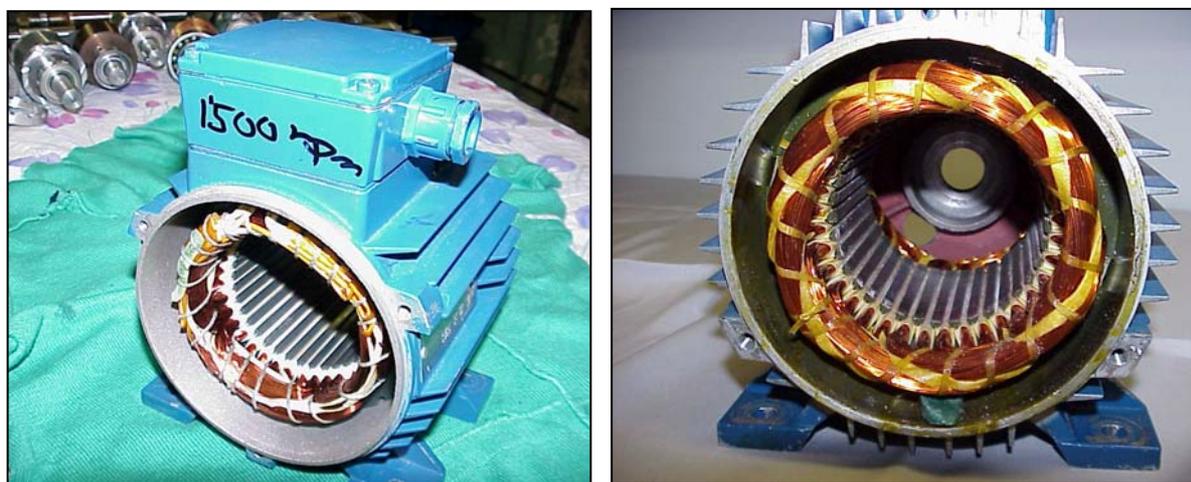


Figura 3.7. Vistas del motor bobinado a 1500 rpm. Obsérvese la configuración del bobinado.

La figura anterior muestra el motor con el bobinado original. Como se aprecia las ranuras estaban con un coeficiente de llenado no demasiado alto. Comparando el volumen ocupado con el volumen disponible nos hizo pensar que el número de espiras por ranura podía aumentar de forma considerable, y así fue, ya que se consiguió aumentar en un 25% su número sin disminuir la sección del hilo, lo que permitió mantener las densidades de corriente en valores semejantes a los originales

### 3.2.3 Estator a 1500rpm tipo A

El motor de 1500rpm tipo A, es el mismo motor de 1500rpm, rebobinado<sup>{L-30}</sup> con el mismo número de polos, pero con una diferencia, se le ha aumentado el número de espiras en cada ranura, pasándose de las 62 iniciales a las 80 espiras de esta nueva versión simplemente porque fue el número máximo de espiras que entraban holgadamente en la ranura del estator. A priori es un leve cambio, pero es suficiente para modificar las especificaciones técnicas de las características eléctricas del motor.

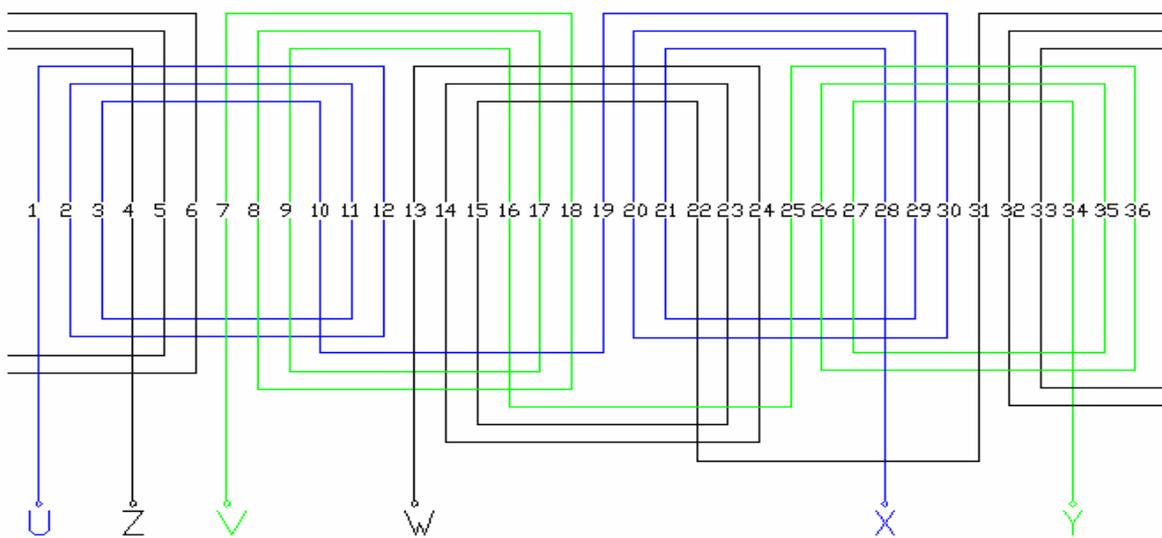


Figura 3.8. Bobinado concéntrico por polos con 18 bobinas correspondiente al motor de 1500 rpm-A.

Se ha conservado pues el bobinado concéntrico por polos consecuentes a una capa con 18 bobinas agrupadas en 6 grupos con lo que el número de bobinas por grupo es de 3, con una amplitud del grupo de 6. El diámetro del hilo de cobre escogido es de 0.65 mm con una cubierta esmaltada grado 2 y clase H de 0.05 mm.

Los cálculos de los diferentes parámetros y magnitudes que intervienen en este nuevo motor quedan reflejados en la siguiente tabla, donde en la primera fila se incluye las especificaciones técnicas dadas en la placa de características<sup>{M-10}</sup>.

<i>Motor 3Ph</i>	<i>TYPE: T 90S-4-AB3</i>	<i>IP55 IS. CL-F IEF 34-1</i>	<i>Número: 9122257</i>
<i>Tipo de bobinado</i>	Bobinado concéntrico por polos consecuentes con 36 ranuras y 4 polos. Una capa		
<i>Forma</i>	Concéntrico por polos consecuentes con bobinas agrupadas		
<i>Número ranuras</i>	$K=36$		
<i>Número de polos</i>	$2p=4$		
<i>Número de fases</i>	$q=3$		
<i>Número de ranuras por polo y fase</i>	$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3$		
<i>Número de bobinas</i>	$B = \frac{K}{2} = \frac{36}{2} = 18$		
<i>Grupos de bobinado</i>	$G = 2pq = 2 \cdot 3 = 6$		

<b>Número de bobinas por grupo</b>	$U = \frac{B}{G} = \frac{18}{6} = 3$
<b>Amplitud del grupo</b>	$M = (q-1) \cdot 2U = (3-1) \cdot 3 = 6$
<b>Pasos de bobina</b>	$Y_{1B} = 1-12 \quad Y_{2B} = 2-11 \quad Y_{3B} = 3-10$
<b>Paso de principios</b>	$Y_{120} = \frac{K}{3 \cdot p} = \frac{36}{3 \cdot 2} = 6$
<b>Principios de bobina</b>	$U-1; \quad V-7; \quad W-13$
<b>Tipo hilo</b>	Cobre esmaltado de 0.65 mm de diámetro
<b>Inducción en el entrehierro (T)</b>	$B_e = \frac{V_{fase} \cdot p_{pares-polos}}{4.44 \cdot f \cdot D_{rotor} \cdot L_{long-núcleo} \cdot K_{bobinado} \cdot N_{espiras-fase}} = \frac{220 \cdot 2 \cdot 10^4}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.08 \cdot 0.0704 \cdot 0.96 \cdot 6 \cdot 80} = 0.7637T$
<b>Inducción en la corona (T)</b>	$B_c = \frac{1.05 \cdot D_{rotor}}{p_{polos} \cdot h_{corona}} B_e = \frac{1.05 \cdot 80}{4 \cdot 12} \cdot 0.7637 = 1.3367T$
<b>Espiras por bobina</b>	$N_e = 82$
<b>Velocidad (rpm)</b>	$n = 1410$ (1340 valor real experimental)
<b>Frecuencia (Hz)</b>	50 (50 valor real experimental)
<b>Tensión Y-Δ (V)</b>	220-240/380-410
<b>Potencia útil (CV/W)</b>	1.5/1100 (1105 valor real experimental)
<b>Potencia total (W)</b>	1560 valor real experimental
<b>Intensidad Y-Δ (A)</b>	2.8-4.8 (2.65-4.6 valor real experimental)
<b>Par nominal (N-m)</b>	$T_n = \frac{P_{util}}{n \cdot \frac{2\pi}{60}} = \frac{1100}{1410 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 7.45$ (7.80 valor real experimental)
<b>Cos φ</b>	0.78 (0.90 valor real experimental)
<b>Rendimiento (%)</b>	70.0 valor real experimental
<b>Par/In (N-m/A)</b>	2.94 valor real experimental
<b>Par/Pabs (N-m/W)</b>	0.0050 valor real experimental

Tabla III.IV. Datos técnicos del motor de 1500 rpm tipo A, con rotor de jaula de ardilla.

Con estos cambios se consiguió rebajar las inducciones en el entrehierro y en la corona en casi un 25%, sin repercusiones importantes en las otras magnitudes eléctricas, pero ganando en las magnéticas al quedar la estructura del motor con densidades de flujo más bajas. Como puede apreciarse en la tabla correspondiente, una vez efectuados los ensayos experimentales, se comprueba que los valores son muy similares a los dados en las especificaciones técnicas de la placa de características del motor. También en esta ocasión se han añadido algunas otras magnitudes halladas en los ensayos para tener un mayor conocimiento de la respuesta del motor

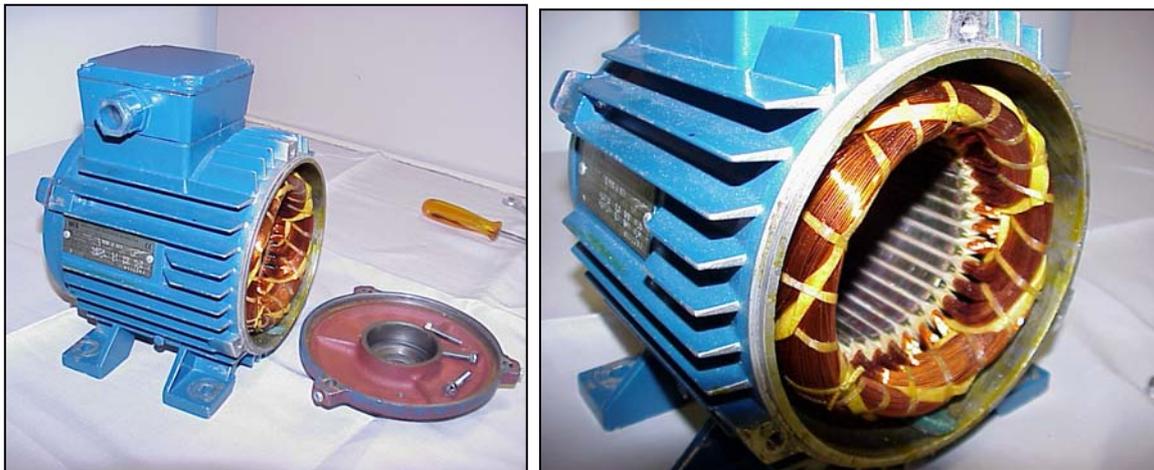


Figura 3.9. Vistas del motor bobinado a 1500 rpm tipo A. Obsérvese la configuración del bobinado.

### 3.2.4 Estator a 3000 rpm

Dada la configuración del tipo de rotor analizado (el rotor de chapas), parecía probable una mejor respuesta si funcionaba con altas velocidades, como después se comprobó. Resultaba necesario pues construir un último estator esta vez a 3000 rpm que nos permitiera validar esta hipótesis. ¿Pero resultaría el rotor de chapas capaz de aguantar durante largos periodos de funcionamiento estas velocidades sin sufrir deformaciones en su estructura?, recordemos que su conformación con chapas en espiral es más débil si lo comparamos con los de jaula donde éstas están situadas perpendiculares al eje del rotor.

El bobinado<sup>{L-30}</sup> que incorpora el nuevo motor es un concéntrico por polos a una capa, con un número de espiras por ranura de 55, sin problemas magnéticos de saturación. El número de bobinas es de 18, agrupadas en 6 grupos con lo que el número de bobinas por grupo es de 3, con una amplitud del grupo de 12. El diámetro del hilo de cobre escogido es de 0.70 mm con una cubierta grado 2 de clase *H* esmaltada de 0.05 mm.

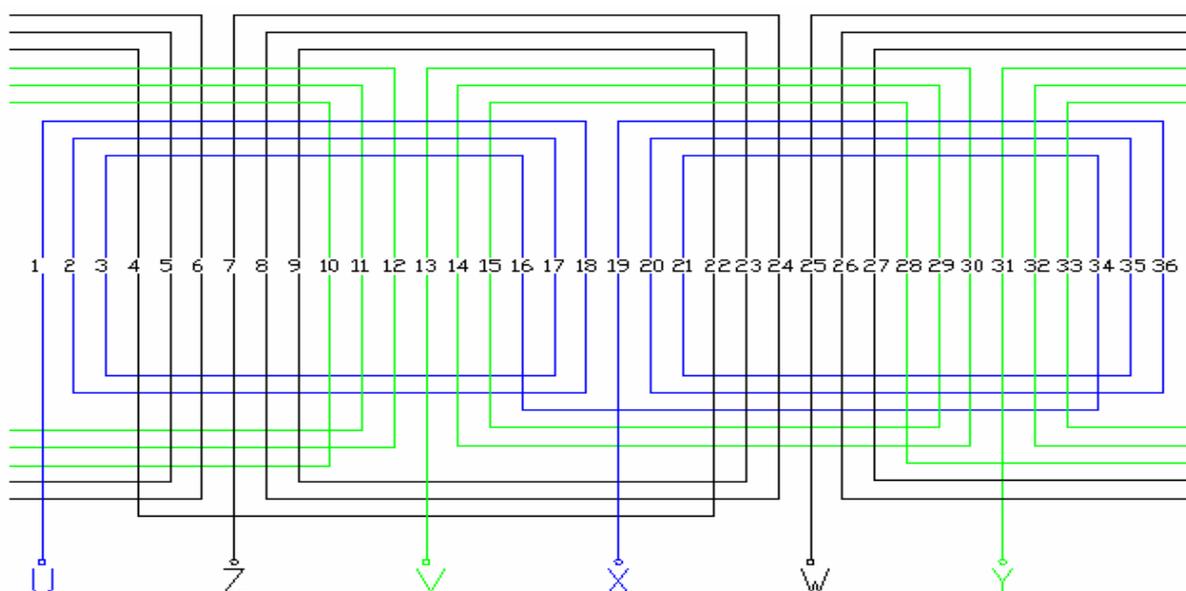


Figura 3.10. Bobinado concéntrico por polos con 18 bobinas correspondiente al motor de 3000 rpm.

Los cálculos de los diferentes parámetros y magnitudes que intervienen en este motor quedan reflejados en la siguiente tabla, donde en la primera fila se incluye las especificaciones técnicas dadas en la placa de características<sup>{M-10}</sup>.

<i>Motor 3Ph</i>	<i>TYPE: T 90S-4-AB3</i>	<i>IP55 IS. CL-F IEF 34-1</i>	<i>Número: 9122258</i>
<i>Tipo de bobinado</i>	Bobinado concéntrico por polos con 36 ranuras y 2 polos		
<i>Forma</i>	Concéntrico por polos con bobinas distribuidas en una capa		
<i>Número ranuras</i>	$K=36$		
<i>Número de polos</i>	$2p=2$		
<i>Número de fases</i>	$Q=3$		
<i>Número de ranuras por polo y fase</i>	$K_{pq} = \frac{K}{2pq} = \frac{36}{2 \cdot 3} = 6$		
<i>Número de bobinas</i>	$B = \frac{K}{2} = \frac{36}{2} = 18$		
<i>Grupos de bobinado</i>	$G = 2pq = 2 \cdot 3 = 6$		
<i>Número de bobinas por grupo</i>	$U = \frac{B}{G} = \frac{18}{6} = 3$		
<i>Amplitud del grupo</i>	$M=(q-1) \cdot 2U=(3-1) \cdot 2 \cdot 3=12$		

<b>Pasos de bobina</b>	$Y_{1B}=1-18 \quad Y_{2B}=2-17 \quad Y_{3B}=3-16$
<b>Paso de principios</b>	$Y_{120} = \frac{K}{3 \cdot p} = \frac{36}{3 \cdot 1} = 12$
<b>Principios bobinas</b>	$U-1; \quad V-13; \quad W-25$
<b>Tipo hilo</b>	Cobre esmaltado de 0.70mm de diámetro con 55 espiras por ranura
<b>Inducción en el entrehierro (T)</b>	$B_e = \frac{V_{fase} \cdot p_{pares-polos}}{4.44 \cdot f \cdot D_{rotor} \cdot L_{long-núcleo} \cdot K_{bobinado} \cdot N_{espiras-fase}} = \frac{220 \cdot 1}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.08 \cdot 0.0704 \cdot 0.956 \cdot 6 \cdot 55} = 0.5580T$
<b>Inducción en la corona (T)</b>	$B_c = \frac{1.05 \cdot D_{rotor}}{p_{polos} \cdot h_{corona}} B_e = \frac{1.05 \cdot 80}{2 \cdot 12} \cdot 0.558 = 1.336T$
<b>Espiras por bobina</b>	$N_e = 55$
<b>Velocidad (rpm)</b>	$N=2840$ (2810 valor real experimental)
<b>Frecuencia (Hz)</b>	50 (50 valor real experimental)
<b>Tensión Y-Δ (V)</b>	220-240/380-410
<b>Potencia útil (CV/W)</b>	1.5/1100 (1105 valor real experimental)
<b>Potencia total (W)</b>	1400 valor real experimental
<b>Intensidad Y-Δ (A)</b>	3.7-6.4 (2.4-4.2 valor real experimental)
<b>Par nominal (N·m)</b>	$T_n = \frac{P_{util}}{n \cdot \frac{2\pi}{60}} = \frac{1100}{2840 \cdot \frac{2\pi}{60}} = 3.70$ (3.70 valor real experimental)
<b>Cos φ</b>	0.78 (0.90 valor real experimental)
<b>Rendimiento (%)</b>	78.2 valor real experimental
<b>Par/In (N·m/A)</b>	1.56 valor real experimental
<b>Par/Pabs (N·m/W)</b>	0.0026 valor real experimental

Tabla III.V. Datos técnicos del motor de 3000 rpm con rotor de jaula de ardilla.

Las inducciones en el entrehierro y en la cabeza de la corona se mantienen dentro de valores aceptables, y como puede apreciarse en la tabla correspondiente, una vez efectuados los ensayos experimentales, se comprueba que los valores (si exceptuamos una ligera variación del valor de la intensidad y del cos φ) son muy similares a los dados en las especificaciones técnicas de la placa de características del motor. Finalmente, también en esta ocasión se han añadido algunas otras magnitudes halladas también en los ensayos para tener un mayor conocimiento de la respuesta del motor.

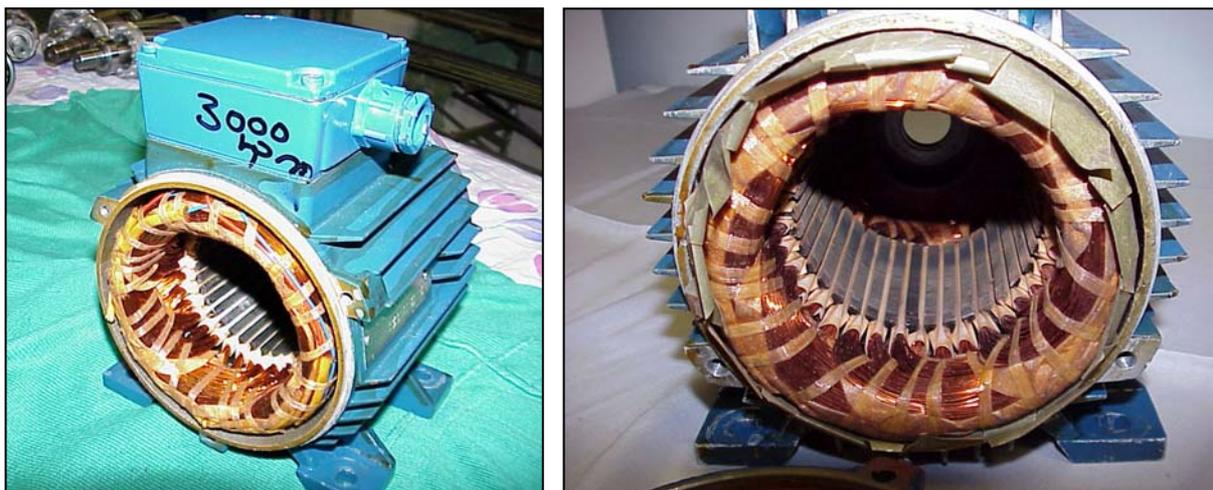


Figura 3.11. Vistas del motor bobinado a 3000 rpm. Obsérvese la configuración del bobinado.