

# Posicionamiento y proyección actual del motor de paso en aplicaciones industriales.

## A. Codina García.

Agrupación de Instrumentación, Centro de Inmuno-ensayo,  
Calle 134 y Ave. 25. Apartado 6653. Playa Ciudad Habana. Cuba.  
E-mail: [inchapa@cie.sld.cu](mailto:inchapa@cie.sld.cu)

### Resumen.

El presente trabajo aborda el empleo del motor de paso en las aplicaciones industriales actuales, los recientes avances y tendencias en la construcción de los mismos así como sus principales características y variantes más conocidas.

**Palabras claves:** Motores de paso, control de movimiento.

## 1. Introducción.

Los motores de paso (MP), conocidos en alemán como *Schrittmotoren* y en francés como *moteurs pas à pas*, son convertidores electromecánicos que transforman una serie de impulsos eléctricos en igual cantidad de discretas rotaciones angulares del eje de salida. El sentido, la velocidad y el desplazamiento angular experimentado en la rotación están determinadas por la secuencia de pulsos de corriente recibidos por el motor. Esta correspondencia permite obtener una rotación exacta con una precisión de hasta dos pasos completos sin necesidad de retroalimentación respecto a la posición final de su eje.

Su simplicidad constructiva, alta fiabilidad, bajo costo y su capacidad para trabajar en los ambientes más rigurosos están entre las características que lo han convertido en la opción más apropiada en aplicaciones industriales relacionadas con el control de movimiento. Puede ser usado con éxito en aplicaciones que requieran rotaciones, desplazamientos, velocidades o sincronismos controlados en un rango de hasta 2 KW de potencia y 3000 rpm de velocidad. El paso angular de un motor de este tipo se haya comúnmente entre  $1.8^\circ$  ( $0.9^\circ$  es menos frecuente) y  $90^\circ$ , aunque se pueden obtener resoluciones del orden de  $0.36^\circ$  a  $0.09^\circ$  con la técnica de operación conocida como minipaso y resoluciones aún menores en el orden de  $0.0036^\circ$  empleando la técnica de micropaso en motores de resolución nominal de  $1.8^\circ$ . El rango de torque va desde  $1 \mu\text{Nm}$  (en motores de 3 mm de diámetro exterior situados en relojes de pulsera) a 40 Nm en motores de

150 mm de diámetro empleados en máquinas herramientas.

El auge de la computación y la ofimática en general ha potenciado el empleo de los MP de pequeño tamaño en los más diversos periféricos como son impresoras, scanners, fotocopiadoras, plotters, etc. Su empleo se aprecia igualmente en una amplia gama de equipos médicos entre los que destacan fotómetros, espectrofotómetros, procesadores de muestras y analizadores entre otros. Su popularidad en esta gama de aplicaciones se debe a la posibilidad de controlarlos directamente desde una computadora, un microprocesador o controles programables.

El presente trabajo intenta mostrar algunas de las características principales de los MP, sus variantes más conocidas, áreas de aplicación, así como los más recientes avances y tendencias en su diseño y fabricación.

A pesar del estrecho vínculo existente entre la técnica de control empleada y el desempeño del MP, no se harán más que algunas referencias indispensables al respecto pues un tratamiento más profundo de este tema no es objetivo de este trabajo.

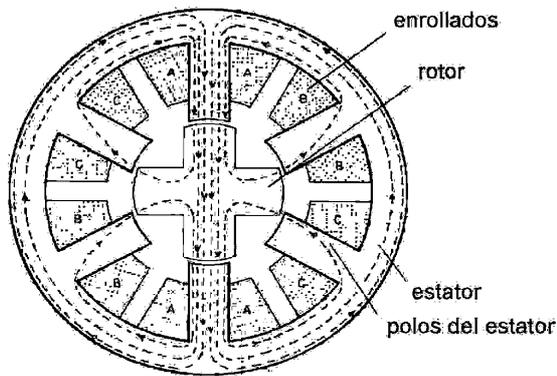
## 2. Variantes principales del MP.

Los tipos más importantes de MP son los siguientes:

- Reluctancia variable
- Imán permanente
- Híbrido

El motor de reluctancia variable ha sido empleado durante largo tiempo y su estructura consiste en un rotor de hierro blando, dentado en su periferia y situado en el

interior de un estator con enrollados como se muestra en la figura 1. Cuando los enrollados del estator son excitados con una corriente directa, los polos del mismo se magnetizan y atraen a los dientes del rotor produciendo la rotación de este último.



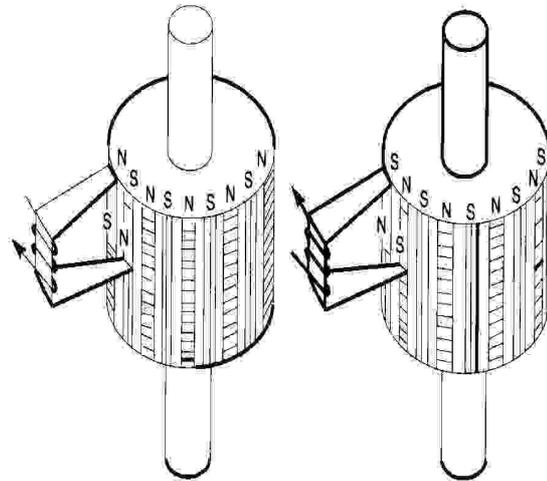
**Fig.1** Sección de un motor de paso de reluctancia variable. Las líneas discontinuas representan el paso del flujo magnético.

Los dientes del rotor proporcionan una mejor orientación para el flujo magnético a través de su paso por la holgura rotor-estator, lo cual incrementa el torque dinámico y de retención de este tipo de motor en comparación con los de reluctancia variable e imán permanente. Existen también otros diseños especiales de MP, entre los que se haya uno a base de un rotor constituido por un disco magnético formado de tierras raras y que ha sido patentado por la firma suiza Portescap.

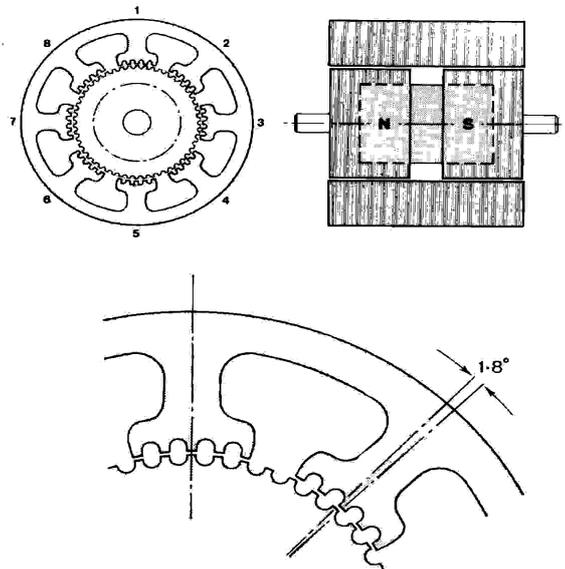
El motor de imán permanente es de menor costo y mayor resolución que el de reluctancia variable y su estructura consiste en un rotor cilíndrico compuesto por barras de imán permanente paralelas al eje del motor que se sitúan de manera que su polaridad alterne, como puede apreciarse en la figura 2.

Estas barras de imán permanente situadas de manera alterna en la periferia del rotor constituyen polos magnetizados que aumentan la intensidad del flujo magnético y por esta razón este tipo de motor es superior en torque al de reluctancia variable.

El motor de tipo híbrido combina las mejores características de los anteriormente descritos y proporciona las mejores prestaciones en cuanto a resolución, torque y velocidad. Posee un rotor dentado, al igual que el de reluctancia variable, que contiene alrededor de su eje un imán permanente axialmente magnetizado como se aprecia en la figura 3.



**Fig. 2** Motor de paso de imán permanente [2]



**Fig. 3** Motor de paso híbrido de 200 pulsos/rev. ( $1.8^\circ$ /pulso).

En la figura 4 puede apreciarse el esquema de un motor de este tipo

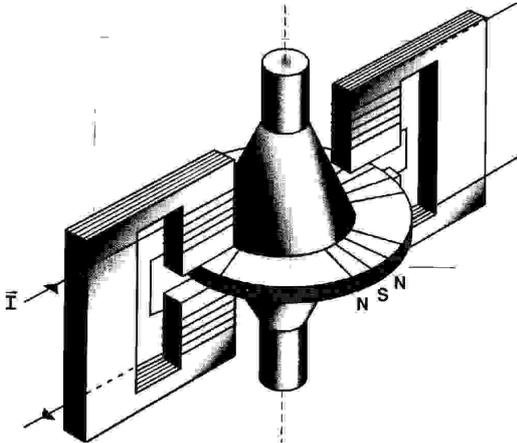


Fig. 4 Motor de paso con rotor de disco magnético [4].

Los motores construidos con este diseño tienen un índice de torque/inercia muy elevado, lo cual permite un mejor desempeño en aplicaciones que requieren rápido posicionamiento pues el tiempo de aceleración se reduce considerablemente.

El MP de 200 pulsos/rev. (paso angular de  $1.8^\circ$ ) es por mucho el mas extendido en aplicaciones industriales. El mismo posee un rotor con dos secciones con 50 dientes cada una, existiendo un desfase angular entre ambas secciones equivalente a la mitad del paso entre dientes. El estator por su parte está compuesto por 8 polos dentados de 5 dientes cada uno, haciendo un total de 40.

El MP híbrido puede operarse en 3 modos fundamentales en función de la secuencia de excitación de sus enrollados. Estos modos son el paso completo, el medio paso y el micropaso. En el paso completo al recibir el motor cada pulso de corriente, su eje gira un ángulo que coincide con su resolución nominal, por ejemplo  $1.8^\circ$ . La forma mas común de ejecutar el paso completo consiste en la excitación simultánea de dos fases, lo cual implica que la posición de equilibrio en cada paso se alcanzará en una posición intermedia entre las fases excitadas, esto permite disponer de un torque de retención 1.4 veces superior al que puede obtenerse excitando una fase individualmente con cada pulso (ver fig. 5). Debe prestarse atención a que en la excitación simultánea el consumo del motor detenido se duplica con relación a la excitación individual, pues el motor tiene energizadas dos fases en lugar de una.

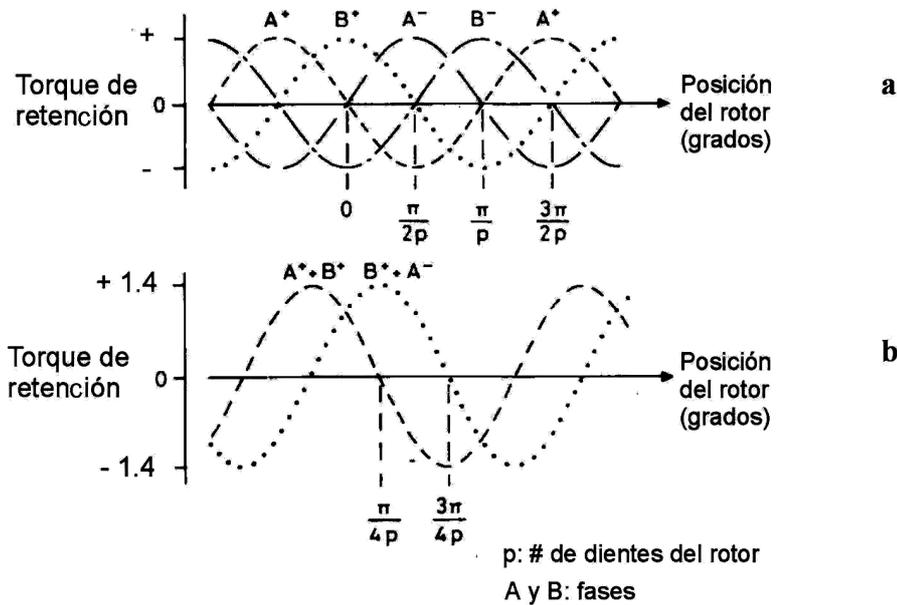


Fig. 5 Característica estática de torque vs posición del rotor para un motor híbrido  
 a una fase excitada, b dos fases excitadas

En la tabla 1 se muestra la secuencia de excitación de los enrollados de las fases para el modo de operación a paso completo con dos fases energizadas simultáneamente.

En la tabla 1 se muestra la secuencia de excitación de los enrollados de las fases para el modo de operación a paso completo con dos fases energizadas simultáneamente

**Tabla 1.** Secuencia de excitación para paso completo con dos fases excitadas al unísono

Fases	Pulsos /revolución			
	1	2	3	4
A	1	0	0	1
B	1	1	0	0
A'	0	1	1	0
B'	0	0	1	1

El medio paso combina la excitación individual con la simultánea de las fases. Esto permite que el motor pueda girar con la mitad de su resolución, sin necesidad del empleo de reductores mecánicos. De esta forma el mismo motor de  $1.8^\circ/\text{paso}$  puede aumentar su resolución a  $0.9^\circ/\text{paso}$ . Para la misma frecuencia de pulsos enviados por el circuito controlador a un motor, la velocidad de giro a paso completo es el doble respecto a su operación a medio paso. La secuencia de excitación de las fases para este modo de operación del motor es la que se muestra en la tabla 2.

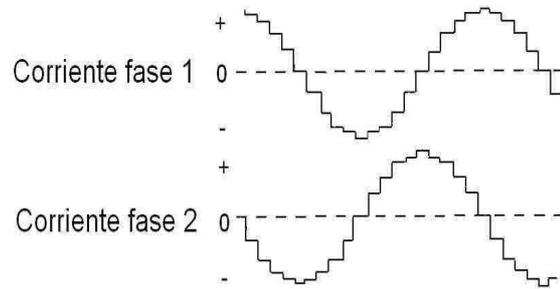
**Tabla 2.** Secuencia de excitación para medio paso

Fases	Pulsos /revolución							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1	0	0	0	0	0	1	1
B	1	1	1	0	0	0	0	0
A'	0	0	1	1	1	0	0	0
B'	0	0	0	0	1	1	1	0

La excitación a medio paso supone que el motor al girar tenga pulsos “fuertes” (posición de equilibrio con dos fases excitadas) y pulsos “débiles” (posición de equilibrio con una sola fase excitada), lo cual reduce el torque medio entregado por el motor en todo el rango de frecuencia respecto al que se obtiene con la excitación a paso completo. La solución a esto consiste en suministrar en el instante en que se conecta solo una fase, una corriente 1.4 veces superior a la nominal, lo cual no influye en el consumo del motor pues en el próximo paso este consumirá una corriente similar para energizar las dos fases conectadas. De esta manera, el motor operando a medio paso alcanza un torque medio máximo que equivale al 95 % del que se obtiene a paso completo [2, 5].

El micropaso es un modo de operación que permite reducir la resolución o paso angular nominal del motor. Esto se logra suministrando niveles de corrientes desiguales a las fases cuando se energizan simultáneamente (fig. 6). Esto permite que el rotor alcance posiciones de equilibrio intermedias a la que

adopta cuando las fases contiguas son energizadas con una corriente similar.



**Fig. 6** Niveles de la corriente en las fases en el micropaso.

El micropaso de alta resolución puede dividir el paso angular nominal del motor hasta en 500 partes, lo cual significa la obtención de 100 000 pasos por revolución [1, 2]. La resolución de un motor aumenta con las fases y el número de dientes de su rotor, pero las dificultades tecnológicas para su construcción aumentan en este mismo sentido. En la práctica se ha limitado el número de fases a cuatro o cinco y los rotores tienen comúnmente entre 50 y 100 dientes. Por esta razón resulta difícil encontrar motores de menos de  $1^\circ/\text{paso}$ .

La operación en modo micropaso reduce la negativa influencia de la resonancia en el desempeño de los MP, por ello la nueva generación de controladores incorpora el micropaso como una de sus opciones.

### 3. Rango de aplicación industrial de los MP.

En primera instancia debemos aclarar que existe un amplio espectro de aplicaciones industriales que pueden ser satisfechas por más de una variante de motores entre los que se encuentran los servomotores de DC con o sin escobillas, servomotores híbridos y por supuesto motores de paso. La elección de la variante final está relacionada con la experiencia acumulada en la implementación de cada variante, la preferencia del cliente para el cual se realiza el proyecto y la compatibilidad con el equipamiento existente. De cualquier manera trataremos de enmarcar el área de aplicación en que el motor de paso aventaja a sus rivales.

En aplicaciones industriales de hasta 0.75 KW relacionadas con el control preciso de desplazamientos, velocidades y, en particular, cuando los requerimientos dinámicos no son muy severos, vale la pena comenzar evaluando un sistema basado en el motor de paso operando en lazo abierto pues resulta imbatible por su precio [2, 6]. La posibilidad de posicionarse de manera precisa empleando un sistema de control sin

retroalimentación o de lazo abierto hace que supere a los sistemas basados en servomotores de DC con o sin escobillas en cuyos casos se incorporan encoders, sensores de posición y tacómetros, entre otros dispositivos, para garantizar una precisión similar añadiendo un costo superior al proyecto.

Reduciendo aún más el cerco en torno a los dominios del motor de paso, podemos señalar que en la zona de hasta 500 r.p.m., puede entregar hasta 5 veces más torque que un motor de DC con escobillas y duplica el torque de uno sin escobillas de tamaño similar, lo cual permite a menudo prescindir de reductores [2, 6]. En este entorno de velocidad resulta insuperable en aplicaciones que requieren movimientos rápidos y repetitivos debido a su elevada razón torque/inercia y a la ausencia de los problemas relacionados con la conmutación que poseen sus similares de DC.

#### 4. Avances y tendencias actuales en la construcción del MP.

No pocos avances han sido incorporados recientemente a esta tecnología con el objetivo de ampliar el rango de aplicación industrial de la misma. Tanto fabricantes como investigadores han atacado fuertemente los puntos flacos del paso a paso persiguiendo entre otros objetivos la extensión del rango de velocidad entre 1000 y 2000 rpm sin renunciar a la supremacía hasta los 500 rpm [6]. En este sentido se han dedicado esfuerzos considerables a mitigar el efecto negativo de la resonancia a partir del desarrollo de controladores que permiten el amortiguamiento electrónico de los transientes. La geometría interna del motor (rotor y estator) tampoco ha escapado al ímpetu renovador con la aparición de ingeniosas geometrías que han aumentado la potencia disponible en cada uno de los tamaños fabricados.

En medio de esta profusa aplicación de todo tipo de avances tecnológicos, los motores de paso conservan su esquema original de operación en lazo abierto, lo cual es consecuente con el hecho de que esta opción resulta aún la más barata para el control de movimiento y posición. Sin embargo, y como un esfuerzo de los fabricantes dedicados a esta tecnología por mantenerla saludable ante los embates de sus rivales, aumenta la tendencia a incorporar en ellos algún modo de retroalimentación ya sea mediante hardware o software.

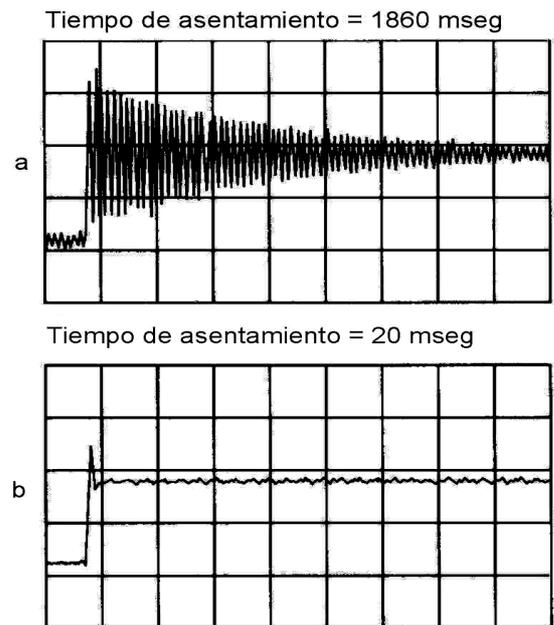
Esta situación hace cada vez más difusa la frontera entre dos tecnologías tradicionalmente competidoras como son los servomotores y los motores de paso.

#### 5. Progresos recientes

La presencia de zonas de resonancia en el rango de velocidad de operación de los motores de paso ha sido una de las mayores limitaciones de esta tecnología,

sobre todo si se tiene en cuenta que a menudo los fabricantes omiten información al respecto [1, 3]. En este sentido se destaca el desarrollo de nuevos controladores que permiten amortiguamiento electrónico regulable tanto a baja como a alta velocidad. Esta variante constituye una alternativa al empleo de amortiguadores mecánicos acoplados al eje del motor, los cuales se seleccionan de acuerdo a la carga, estableciendo cierta inflexibilidad en el sistema y reduciendo su capacidad de aceleración debido a la inercia adicional que aportan al mismo [1, 2].

Los controladores de la serie Z de la firma Parker-Hannifin/Compumotor div. emplean esta técnica de amortiguamiento electrónico a través de los módulos viscosidad electrónica (actúa de 0 a 180 r.p.m.) y amortiguamiento activo (más de 180 rpm) [2, 6, 7]. La acción combinada de ambos módulos permite, regular en función de la carga el amortiguamiento deseado entre 0.2 a 0.5 en todo el rango de velocidad del motor y sin el empleo de terminales adicionales u otros dispositivos de sensado. El efecto de esta técnica resulta particularmente beneficioso en aplicaciones que requieren de movimientos con rápido asentamiento (ver fig. 7).



**Fig. 7** Efecto del amortiguamiento electrónico sobre la respuesta oscilatoria del rotor en cada paso [2]  
 a) respuesta oscilatoria del rotor de un MP híbrido  
 b) respuesta oscilatoria del rotor empleando el amortiguamiento electrónico

## 6. Batalla entre fases.

El movimiento paso a paso y su filosofía de control alcanzaron su madurez a través del motor híbrido de 2 fases (también llamados de 4 fases con 200 pulsos/rev.). La tecnología de 5 fases surge luego como alternativa para mejorar los defectos de su antecesor. Debido a una rotación mas discretizada (500 pasos/rev.), los motores

de 5 fases tienen mejor desempeño respecto a la resonancia, el ruido y las variaciones del torque, aunque todo ello a expensas de cierta reducción del mismo (ver fig. 8) [7]. Sin embargo, salvo en Japón, las ventajas no han sido suficientes como para suplantar en gran escala a su hermano menor.

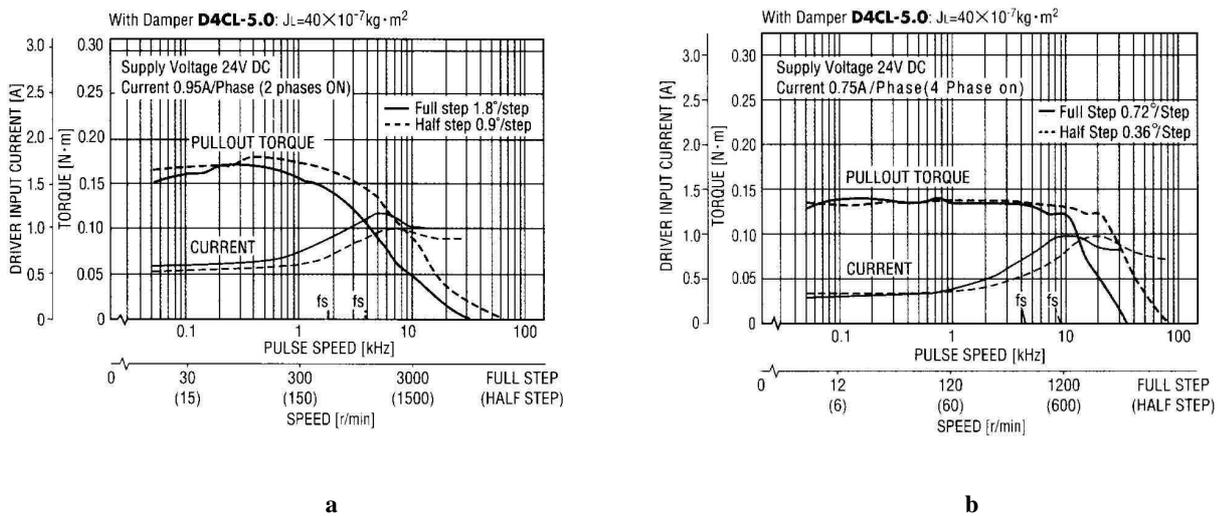


Fig. 8 Gráficos de torque vs frecuencia de dos MP tamaño NEMA 17 (42 mm) de Oriental Motors [8]

a) Motor de 2 fases CSK243-BT

b) Motor de 5 fases CSK543-NBTE

A la convivencia, no tan pacífica, entre 2 y 5 fases debe agregarse la introducción de la competitiva variante de 3 fases, especialmente la desarrollada por el fabricante alemán Berger Lahr, creador también de la tecnología de 5 fases. Desde el punto de vista tecnológico la nueva variante tiene mucho que ofrecer ya que permite obtener el mayor torque de todas, a la vez que resulta menos propensa a la resonancia que la variante de 2 fases, a un costo inferior que la de 5 fases.

La superioridad de la tecnología de 3 fases es incluso aceptada por aquellos fabricantes que no la suministran, sin embargo sus ventajas no parecen ser aún tan atractivas como para socavar los dominios de las tecnologías precedentes, especialmente la de 2 fases. Algunos especialistas opinan que el éxito de esta tecnología podría estar en una oferta mas completa en cuanto a tamaños (NEMA 23, 34 y 42) y sus respectivos controladores, cosa que no parece probable por el momento, dado el reducido número de fabricantes dedicados a esta variante [6, 7].

## 7. Alto voltaje y baja inductancia.

Otra desventaja histórica de los motores de paso ha sido su debilidad de torque a altas velocidades.

Teniendo en cuenta que los enrollados del motor y la alimentación de los mismos forman un circuito R-L, se hace evidente la disminución de la disponibilidad de torque a mayor velocidad con la reducción de la constante de tiempo ( $L/R$ ) de dicho circuito [1, 3]. En esa dirección se ubican los recientes desarrollos de sistemas formados por motores de baja inductancia y controladores de alto voltaje en los que 170 V comienza a ser un valor común. Ejemplo de ello es la serie UFK (W) de controladores desarrollados por ORIENTAL MOTORS, con un voltaje de salida de 160V. Sin embargo esta técnica tiene su principal desventaja en el calentamiento generado en el motor al aplicar los altos valores de corriente y voltaje del controlador. Esta situación comienza a hacerse evidente entre 300 y 450 r.p.m. hasta alcanzar el estado más severo alrededor de las 900 r.p.m. en régimen de trabajo continuo [7].

Otro factor que agrava esta situación constituye el creciente empleo de la tierra rara Neodimio para la fabricación de los imanes permanentes de los rotores. Este material ha ido desplazando gradualmente a la tierra rara Samario-Cobalto pues posee mejores propiedades magnéticas, mayor resistencia y su obtención resulta más barata.

La dificultad estriba en que la temperatura límite de trabajo del Neodimio (90 –150°C) es muy inferior a la del Samario-Cobalto (300-350°C), por lo que resulta vital evitar a toda costa el aumento incontrolado de la temperatura en el motor. Para garantizar el buen funcionamiento de estos sistemas se hace necesario implementar métodos especiales de control que impidan un calentamiento intolerable del motor sin afectar el desempeño del mismo.

Ejemplo de ello resulta el sistema DspMotion de la firma Whedco, el cual incluye un controlador de 170 V que ejecuta además el procesamiento de la señal de corriente real consumida por el motor para a través de un algoritmo, optimizar el modo de control de la misma y evitar el calentamiento excesivo.

## 8. ¿Motor de paso o servomotor?

Como se ha señalado antes, una de las principales atracciones del motor de paso es la posibilidad de conformar sistemas simples y baratos de posicionado preciso, debido a la ausencia de retroalimentación de la posición (sistema de control de lazo abierto). Sin embargo en medio de una cruenta batalla con el servomotor por el reparto del mercado de las aplicaciones relacionadas al control de movimiento, acrecentada además con la reciente aparición de servomotores sin escobillas de baja potencia y precio, el lazo ya no está tan “abierto” como antaño.

La incorporación de dispositivos de retroalimentación en los motores de paso persigue solucionar los problemas asociados a la pérdida de pasos o la parada del motor en aquellas aplicaciones en que esto resulta intolerable. Como ejemplo de esta tendencia se halla la serie AlphaStep de Oriental Motors, la cual consiste en un motor de paso híbrido de 2 fases con un sensor incorporado para detectar la posición del rotor (ver fig.9) [8].

Otros fabricantes como API Motion, Pacific Scientific y Parker-Hannifin/Compumotor div. suministran desde hace algunos años dispositivos opcionales como encoders absolutos e incrementales, entre otros accesorios necesarios para monitorear la posición del rotor de sus motores de paso.

Algunos especialistas señalan que esta aproximación de los motores de paso hacia el lazo cerrado puede otorgarles ciertas ventajas sobre los servomotores, pues los sistemas suelen ser más simples, robustos y sobre todo menos costosos.

En torno a este último aspecto existen discrepancias entre los fabricantes pues unos consideran que la adición de dispositivos para la retroalimentación implicaría para los motores de paso despojarse de su ventaja competitiva respecto a sus rivales. Otros por su parte consideran que aún con semejantes modificaciones su precio es insuperable pues la diferencia entre ambas

tecnologías está marcada por el hecho de que es mucho más costoso fabricar un servomotor que un motor de paso [10].

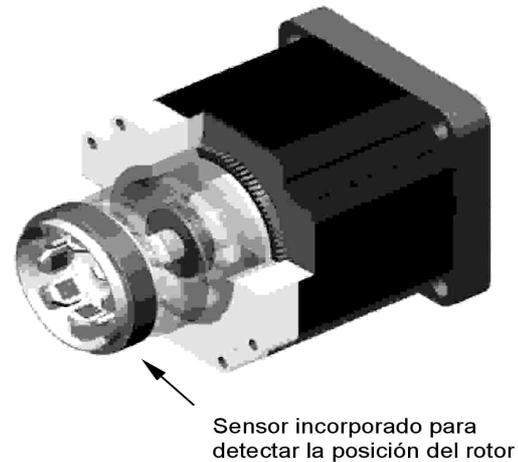


Fig. 9 Motor de la serie AlphaStep de Oriental Motors [8].

Otros especialistas opinan que el futuro de los motores de paso en aplicaciones de lazo cerrado está en la retroalimentación sin sensores, pues de esta manera se pueden conseguir desempeños similares al de los servomotores a un precio realmente ventajoso. Como ejemplo de esta técnica podemos citar el controlador de la serie Gemini GT desarrollado por Parker-Hannifin/Compumotor div. el cual es capaz de detectar la pérdida de pasos sin necesidad de encoders o sensores. Este controlador contiene un software con un algoritmo que compara las señales de corriente y voltaje provenientes del motor con valores conocidos de la condición normal de trabajo de este, de manera que puede detectar las pérdidas de sincronismo si ocurren variaciones en esos parámetros [10].

Es necesario aclarar que la demanda de motores de paso para aplicaciones de lazo cerrado es aún intrascendente. Al respecto el fabricante Pacific Scientific ha declarado que de los motores que vendió en 1999, menos del 10% poseen alguna variante de retroalimentación y de ellos menos de ese mismo porcentaje están ubicados en aplicaciones que la requieren [10]. No obstante es probable que en el futuro continúe esta tendencia como parte de la estrategia de los fabricantes del sector por sobrevivir a la feroz competencia en esta esfera.

### En el interior del motor.

El motor de paso suministra un abundante torque continuo a bajas velocidades y a un precio competitivo. Para extender esta capacidad a un rango de velocidad mayor, se hace necesario operar el campo magnético a frecuencias considerablemente altas, lo cual conduce a

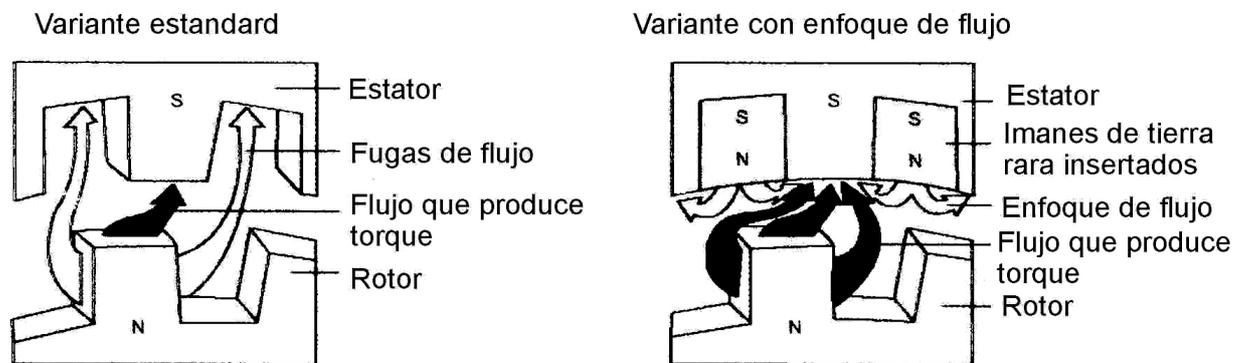
serias pérdidas de CA. Para compensar este inconveniente, los diseñadores se han concentrado en hacer mas eficiente el paso del flujo en el interior del motor.

En esta dirección se destaca el uso de materiales magnéticos más potentes como las tierras raras (samario-cobalto y neodimio), rotores de mayor diámetro en mejores diseños de las estructuras laminadas del rotor y el estator.

Como ejemplo que resume la aplicación de los más recientes avances en la construcción de los MP, podemos citar la serie PowerPac del fabricante Pacific Scientific. Estos motores emplean la técnica de enfoque de flujo para evitar las pérdidas del mismo en el circuito magnético rotor-estator lo cual permite, según

refiere el fabricante, aumentar el torque en un 25% respecto a la variante estándar de esta serie (fig. 10). Poseen además un rotor con potentes imanes de tierra rara (samario-cobalto) de gran diámetro pero de reducida inercia gracias a un diseño especial que semeja dos “copas” colocadas espalda con espalda, lo cual permite un alto torque de salida y gran capacidad de aceleración.

A modo de referencia del impacto de estos avances introducidos en la serie PowerPac, en la tabla 3 se muestran los parámetros del motor tamaño NEMA 34 (86 mm) de esta serie junto a los de su homólogo PK296 del fabricante Oriental Motors.



**Fig. 10** Tecnología de enfoque de flujo aplicada en la construcción de los motores de paso.

**Tabla 3.** Parámetros de los motores tamaño NEMA 34 de la serie PowerPac y Oriental motor.

Modelo	Fabricante	Fases	Paso angular ( $^{\circ}/pulso$ )	L* (mm)	TR** (N-m)	TR/I <sub>rot</sub> *** ( $rad/s^2 \times 10^{-3}$ )
K31HXHK	Pacific Scientific	2	1.8	79.5	5.96	41.8
PK-296	Oriental Motors	2	1.8	66	2.2	15.4

\* Longitud del motor (Pacific Scientific ha adoptado una longitud 17% superior al estándar)

\*\* Torque de retención (Conexión bipolar con dos fases energizadas)

\*\*\* Razón torque/inercia (parámetro empleado para evaluar la capacidad de aceleración)

Como puede verse el motor K31HXHK de la serie PowerPac posee un torque de retención y una capacidad de aceleración 2.7 veces superior a su similar de Oriental Motors. Esto se explica por que en ambos el rotor posee una inercia similar pero el diseño optimizado del rotor que se emplea en PowerPac permite un diámetro mucho mayor utilizando materiales similares.

## 9. Conclusiones.

- El empleo eficaz de una determinada tecnología parte del conocimiento profundo de sus debilidades, sus fortalezas y su evolución a partir del impacto que sobre ella ejercen los más

recientes avances tanto en su sector como en ramas afines.

- La tecnología del movimiento paso a paso (rotación o traslación) constituye aún la opción menos costosa para implementar el movimiento preciso y repetitivo a velocidades de hasta 500 rpm y potencias de hasta 0.75 KW. No obstante los recientes avances tanto en hardware como software incorporados a la construcción de sistemas basados en motores de paso, contribuyen no solo a consolidar su posición de vanguardia en este segmento, sino a mejorar su desempeño hasta los 2000 rpm y en aplicaciones que requieren de control en lazo cerrado. En la fabricación de motores la tendencia podría resumirse en: “más pequeño, más rápido y más potente”.

## 10. Bibliografía.

1. Acarnley P.P. Stepping motors: a guide to modern theory and practice. 2nd ed, Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1984.
2. Parker Hannifin Corp., Step Motor & Servo Motor, System and Controls. Rohnert Park, CA, E.U.A., 1996

3. Hughes A. Electric motors and drives Fundamentals, types and applications. 2nd ed., Newnes, Oxford, 1993.

4. Potescap. Escap Product Catalogue. La Chaux-de-Fonds, Switzerland, 1995.

5. Sax H. Stepper motor driving. SGS Thomson Microelectronics. 1995.

<http://www.st.com/stonelines/books/pdf/docs/1679.pdf>

6. Bartos F. J. Enhancements Help Step Motors and Controls Evolve. Control Engineering on line. November 1998. URL disponible en: <http://www.controleng.com/>

7. Bartos F. J. Small Steps for Technology, Giant Steps for the User. Control Engineering on line. January 1997. URL disponible en: <http://www.controleng.com/>

8. Oriental Motor Co. Ltd. Oriental Motor General Catalogue 1996/1997. Japan, 1996.

9. New Ways to control Stepper motors. Control Engineering on line. July/August 2000 URL disponible en: <http://www.controleng.com/>

10. Bartos F. J. Step Motor System Battle for Motion Control Market Share. Control Engineering on line. June 2000. URL disponible en: <http://www.controleng.com/>

---

## Position and projection in actual industrial applications of stepping motors.

### Abstract.

This paper focuses on the position of stepping motors in current industrial applications, recent advances and general trends in design and manufacturing such motors. Their most outstanding features and different types are also shown.

**Key words: Stepping motors, motion control.**