

MOTORES PASO A PASO

Steve Jennings, editado por Jim Huntley.
http://www.sapiens.itgo.com/motores_por_pasos

CONSTRUCCIÓN

Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos, rotativos, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica.

La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de los pulsos. Estos motores son simples de operar en una configuración de lazo cerrado y debido a su tamaño proporcionan un excelente torque a baja velocidad.

Entre los beneficios de estos motores se incluyen:

- Un diseño efectivo y un bajo costo
- Alta confiabilidad
- Libres de mantenimiento (no disponen de escobillas)
- Lazo abierto (no requieren dispositivos de realimentación)
- Límite conocido al "error de posición dinámica"

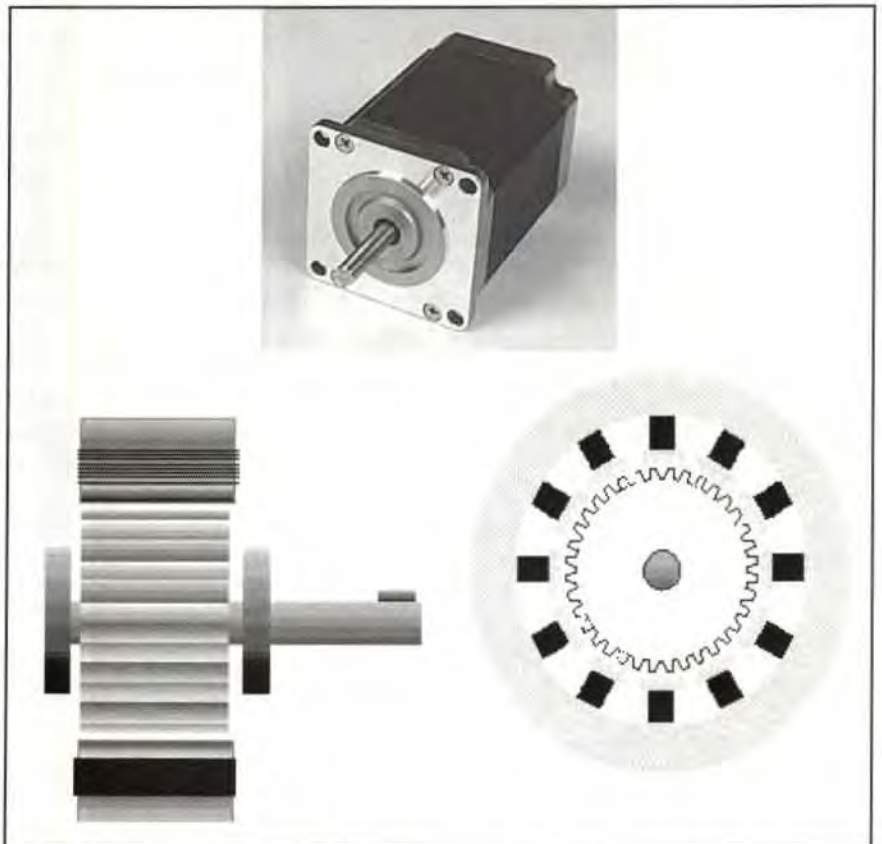


Figura 1. Vista de sección de un motor paso a paso de reluctancia variable

A pesar de que varios tipos de motores paso a paso han sido desarrollados, todos se enmarcan dentro de tres categorías básicas.

1. De reluctancia variable (V.R.)

2. De magneto permanente (armazón metálica)

3. Híbridos

El tipo de motor de reluctancia

variable o V.R. (figura 1) consiste en un rotor y un estator cada uno con un número diferente de dientes. Como el rotor no dispone de un magneto permanente, él mismo gira libremente, o sea que no tiene torque de detención. A pesar de que la relación del torque a la inercia es buena, el torque dado para un tamaño de armazón específico es restringido, por tanto, tamaños pequeños de armazones son por lo general usados y raramente varían para aplicaciones industriales.

El motor de magneto permanente (PM) o tipo enlatado (figura 2) es quizá el motor paso a paso más ampliamente usado para aplicaciones no industriales. En su forma más simple, el motor consiste en un rotor de magneto permanente con magnetizado radial y en un estator similar al motor V.R. Debido a las técnicas de manufactura usadas en la construcción del estator, ellos se conocen a veces como motores de "polo de uñas" o "claw pole" en Inglés.

El tipo híbrido es muy probable que sea el más usado de todos los motores paso a paso.

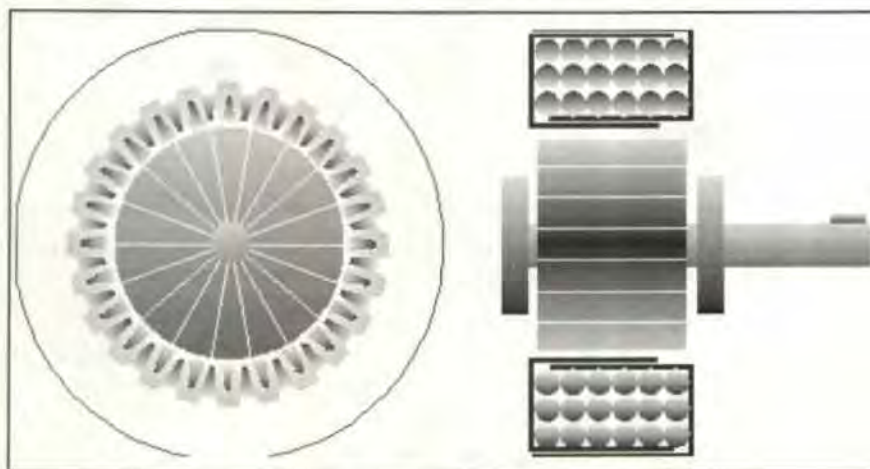


Figura 2. Vista en sección de un magneto permanente

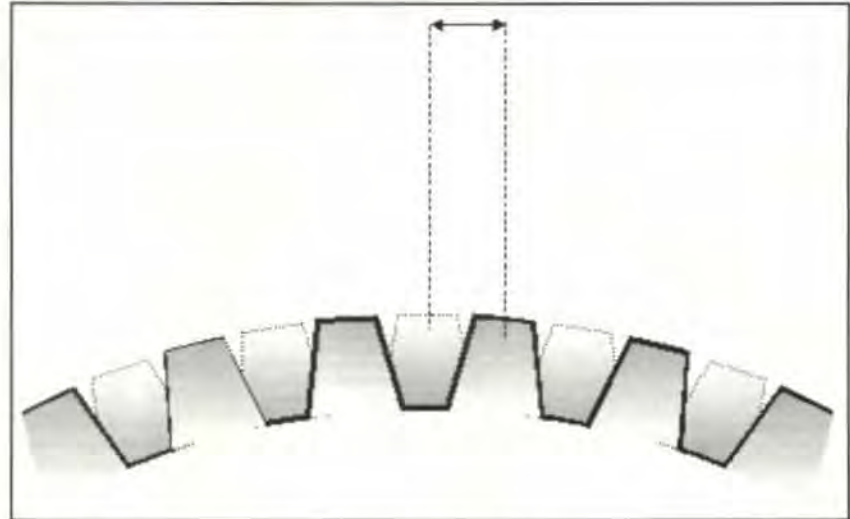


Figura 3. Vista expandida ilustrativa del desplazamiento de dientes.

Originalmente desarrollado como un motor PM sincrónico de baja velocidad, su construcción es una combinación de los diseños V.R. y P.M.. El motor Híbrido consiste de un estator dentado y un rotor de tres partes (apilado simple). El rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un magneto permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente (figura 3) para permitir una alta resolución de pasos.

El aumento en la demanda de sistemas con motor paso a paso de bajo ruido, con una mejora en su desempeño y con reducción de costos fueron satisfechos en el pasado con los dos tipos principales de motores paso a paso Híbridos. El tipo 2(4) fases, que se han usado en aplicaciones simples y el de 5 fases han probado ser ideales para las tareas más exigentes. Las ventajas que ofrecen los motores de 5 fases incluyen:

- Mayor resolución
- Menor ruido acústico
- Menor resonancia operacional
- Menor torque de frenado.

A pesar de que las características de los motores de 5 fases ofrecían muchos beneficios, especialmente en micro pasos, el creciente número de conmutaciones de alimentación y el cableado adicional requerido tenían un efecto adverso en el costo del sistema.

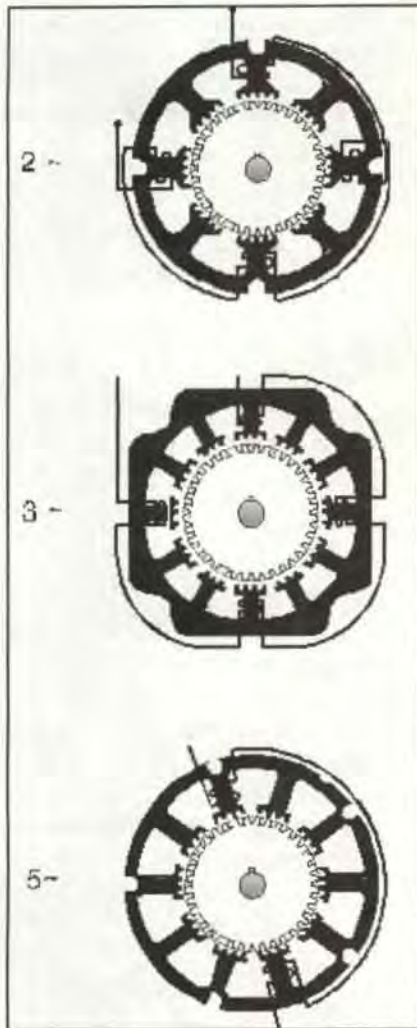


Figura 4. Secciones ilustrativas de las laminaciones y rotores para motores de 2, 3 y 5 fases

El motor Híbrido de 3 fases

A pesar de ser similar en construcción a otros motores paso a paso (ver figura 4), la implementación de la tecnología de 3 fases hizo posible que el número de las mismas se redujera dejando al número de pares de polos del rotor y a la electrónica determinar la resolución (pasos por revolución).

Dado que la tecnología de 3 fases ha sido usada por décadas como

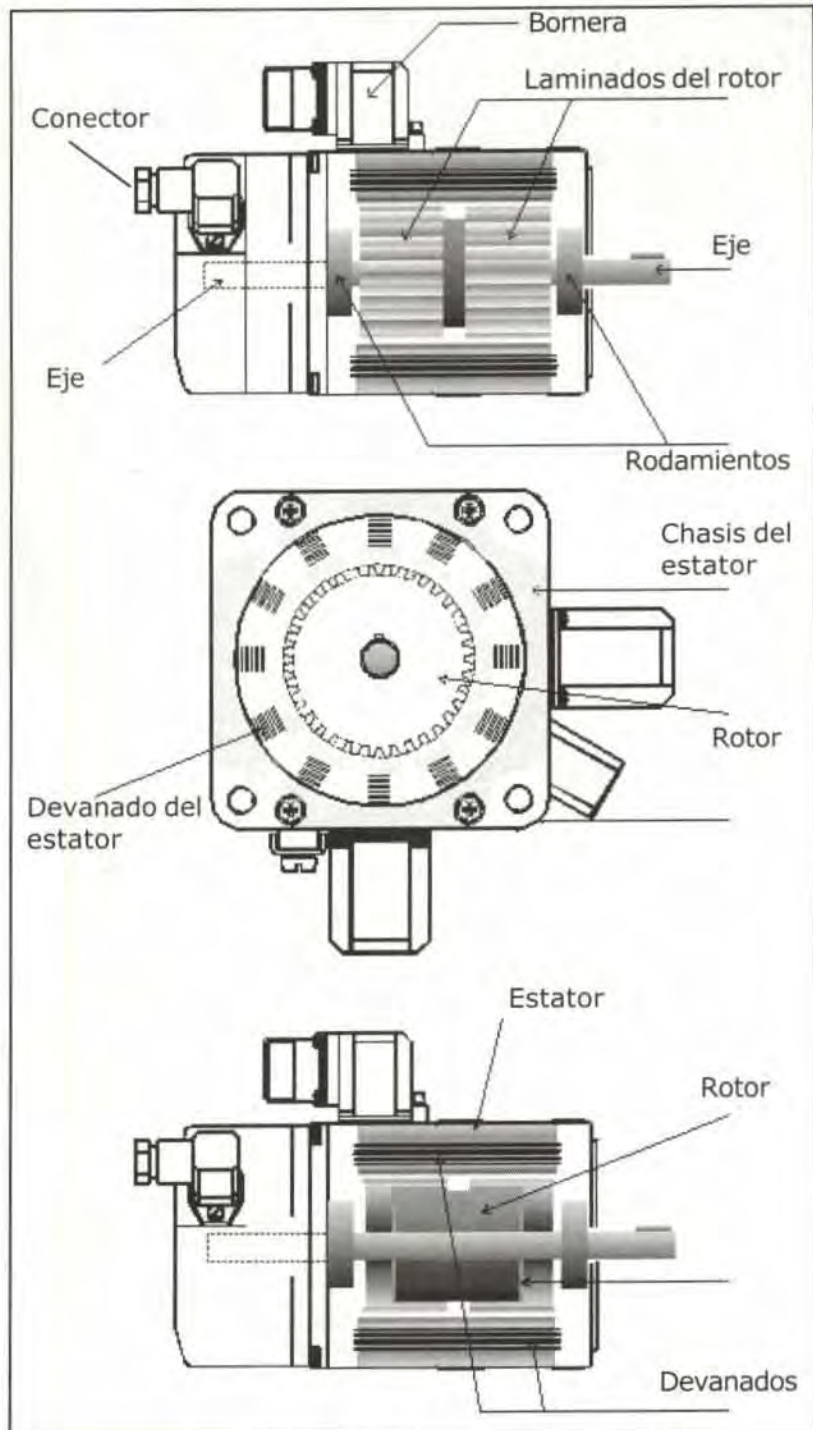


Figura 5. Corte de sección de un motor paso a paso Híbrido (3 fases)

un método efectivo de generación de campos rotativos, las ventajas de este sistema son evidentes. El motor paso a paso de 3 fases fue por tanto, una progresión natural

que incorporó todas las mejores características de un sistema de 5 fases a una significativa reducción de costos.

Resolución de un motor por pasos y ángulo de paso

Como ya se mencionó, la resolución (número de pasos) y el ángulo de paso de un motor por pasos depende de:

- El número de pares de polos del rotor
- El número de fases del motor
- El modo de impulsión (completa o medio paso).

La resolución puede ser calculada usando la fórmula:

$$z = p * m * k$$

El ángulo de paso puede ser calculado dividiendo la rotación (360) por el número de pasos,

$$a = \frac{360}{Z}$$

Vectores de flujo

Los vectores de flujo se usan para ilustrar los ángulos de paso naturales de los motores paso a paso.

Operación

Secuencia de conmutación de fases

Para permitir la rotación, el campo magnético generado por las bobinas del estator debe moverse. Esto se lleva a cabo conmutando la dirección del flujo de corriente a través de cada bobinado

Paso completo: usando un motor simple de dos fases con un par de polos como ejemplo, la secuencia de conmutación de fases al ser

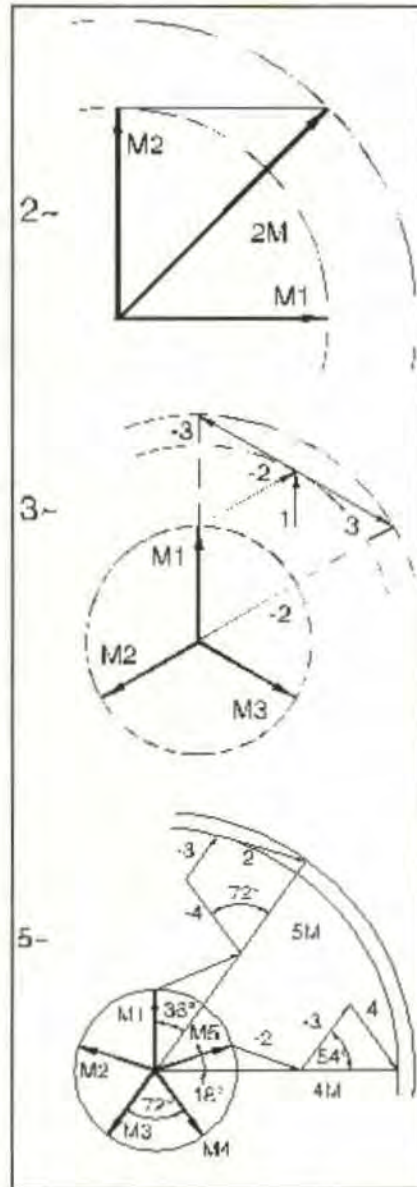


Figura 6. Diagramas de vectores de flujo para motores de pasos de 2, 3 y 5 fases. Si las corrientes de fases son conmutadas en pequeños incrementos, estos vectores de campo puede apuntar virtualmente en cualquier dirección.

impulsado en modo completo es como sigue:

(Figura 7a) Arranque = Paso ángulo 0 – Bobinados W1 y W2 son energizados produciendo un polo norte y sur que atrae los

respectivos polos del rotor y mantienen el rotor en posición.

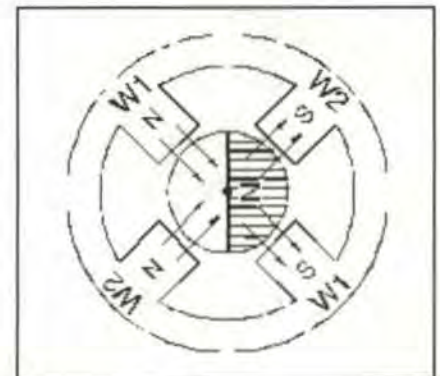


Figura 7a.

(Figura 7b) Paso 1 = ángulo de paso de 90º - El bobinado W2 permanece igual pero el flujo de corriente en el bobinado W1 es conmutado (invertido). Esto resulta en un movimiento del campo magnético del estator que el rotor sigue hasta que éste se ubique en la nueva posición.

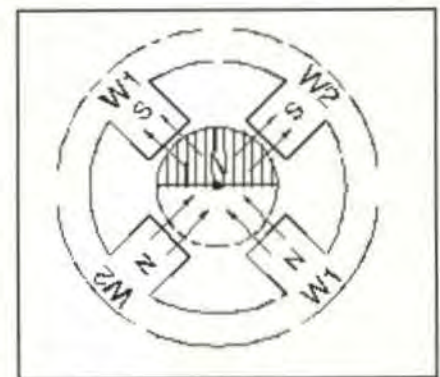


Figura 7b.

(Figura 7c) Paso 2 = ángulo de paso de 180º - Esta vez el flujo corriente en el bobinado W2 es conmutado (invertido) y W1 se mantiene igual. De nuevo, el campo magnético del estator se mueve, el rotor gira y se ubica en la nueva posición.

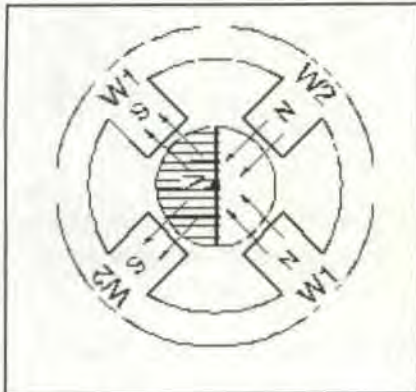


Figura 7c

(Figura 7d) Paso 3 = ángulo de paso de 270° - El bobinado W2 se mantiene como antes, el flujo de corriente en W1 es conmutado (invertido), el rotor gira y se ubica en la nueva posición.

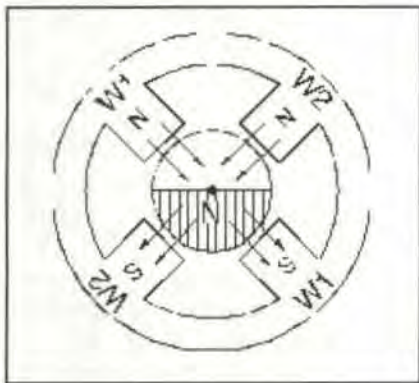


Figura 7d

Las fases de conmutación pueden luego retornar el rotor a la posición inicial o la secuencia de conmutación puede ser revertida. Los diagramas de corriente pueden además ser usados para ilustrar las secuencias de conmutación como sigue: (figuras 8 y 8-1)

Medio paso: Usando el mismo motor paso a paso impulsado en modo de medio paso, se dobla la resolución (pasos por rotación). A

Rotación contraria a las manecillas del reloj

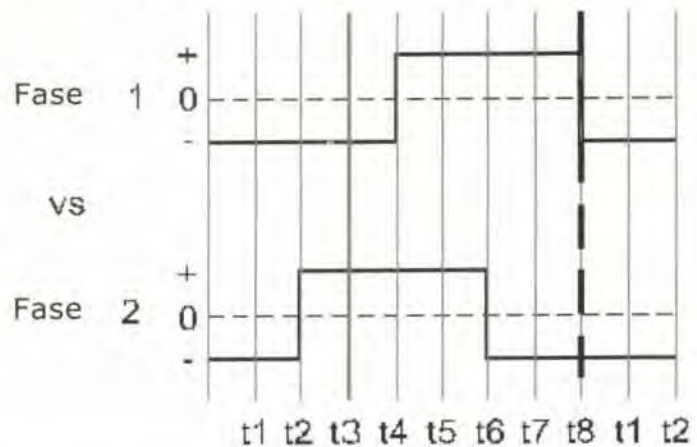


Figura 8. Diagrama de corriente para un motor paso a paso de 2 fases impulsado en modo de paso completo (rotación contraria a las manecillas del reloj)

Rotación en el sentido de las manecillas del reloj

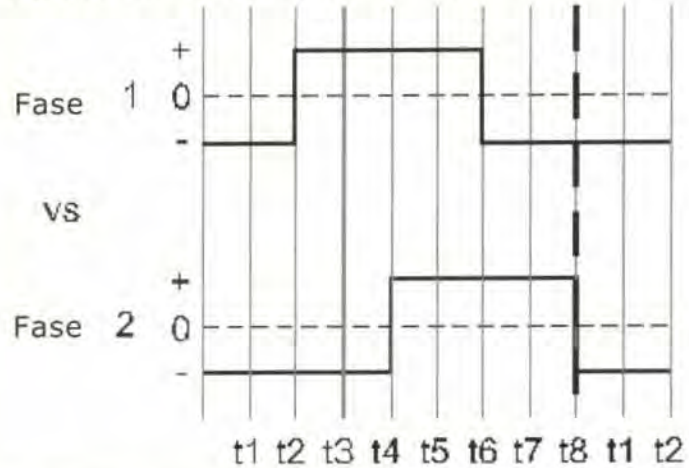


Figura 8-1. Diagrama de corriente para un motor paso a paso de 2 fases impulsado en modo de pasos completos (rotación en el mismo sentido de las manecillas del reloj)

pesar de que la secuencia de conmutación es similar, en vez de simplemente invertir el flujo de corriente a través de una fase, una de ellas es desconectada, permitiendo al rotor su giro y que tome más posiciones. La secuencia para una rotación es como se muestra en las figuras 9 y 10.

Al usar estos modelos simplificados, se ha demostrado el principio operacional de los motores por pasos de 2 fases. Esta conmutación paso a paso de corriente resulta en un campo rotativo "virtual" que el rotor de magneto permanente sigue.

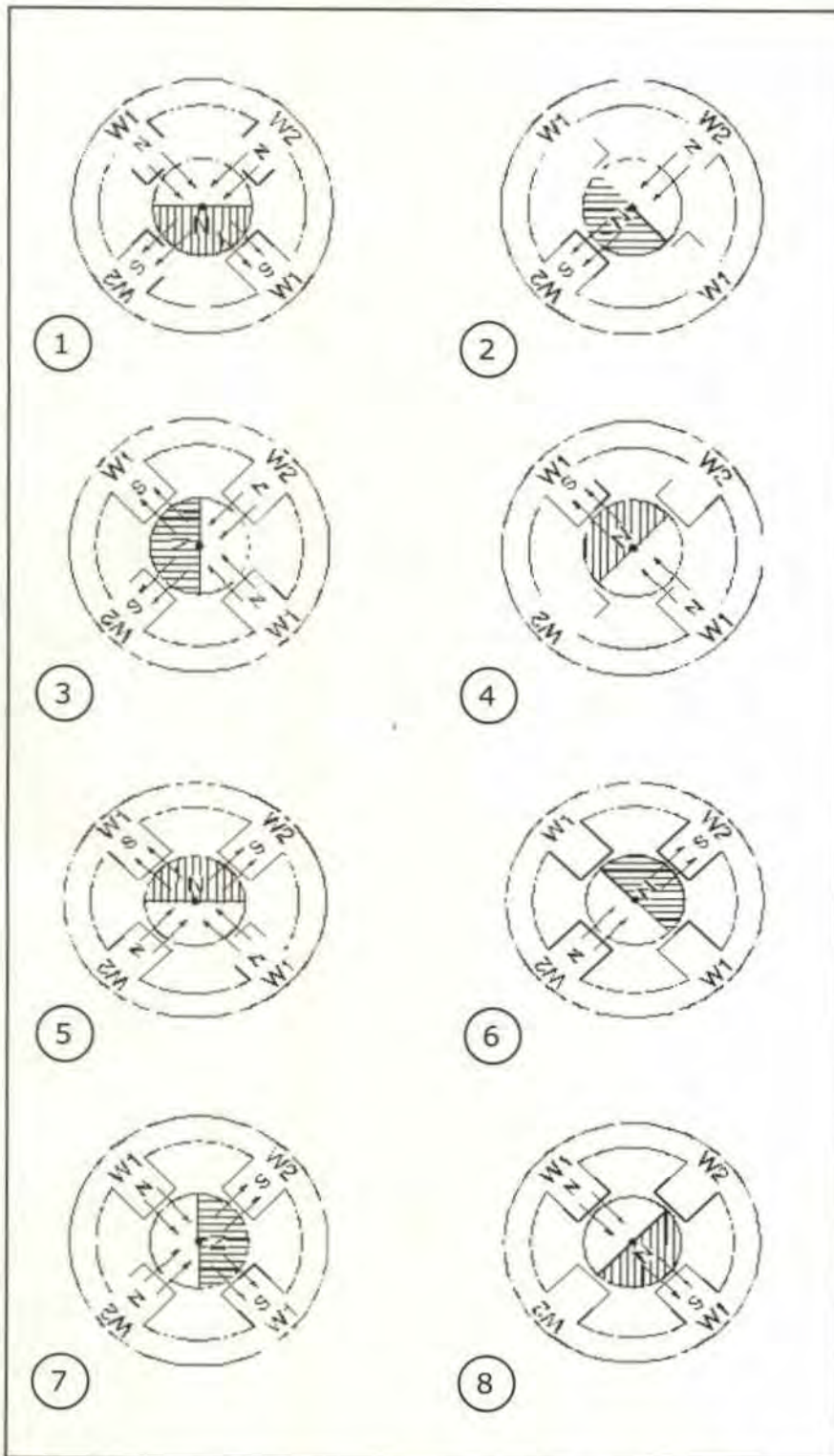


Figura 9. Secuencia de rotación para un motor por pasos de 2 fases en medio paso

La Figura 11 ilustra esta conmutación paso a paso de corriente para un motor de 3 fases en medio paso y su correspondiente diagrama de corriente. La operación de paso completo ocurre cuando sólo los números pares (t) son usados en la secuencia de pasos.

Características de los motores paso a paso

Torque estático o de mantenimiento – características de desplazamiento.

La característica del torque estático (de mantenimiento) – desplazamiento se entiende mejor usando un electro-magneto y un rotor de un solo polo (Figura 12). En el ejemplo, el electro-magneto representa el estator del motor y se energiza con su polo norte enfrentado al rotor.

Asumiendo que no existen cargas estáticas o friccionales sobre el rotor, la figura 12 ilustra cómo el torque de restauración varía con la posición del rotor a medida que es alejado de su posición estable. Al mismo tiempo que el rotor se mueve de su posición estable, el torque se incrementa hasta alcanzar un máximo. Este valor máximo es llamado el torque de mantenimiento y representa la carga máxima que puede ser aplicada al eje sin causar una rotación continua. Si el eje es alejado más allá de este punto, el torque caerá hasta que sea de nuevo cero. Sin embargo, este punto cero es inestable y el torque se revierte de inmediato mas allá de su punto previo hasta el punto estable. Un péndulo (Figura 13) puede usarse para demostrar los efectos que se observan.

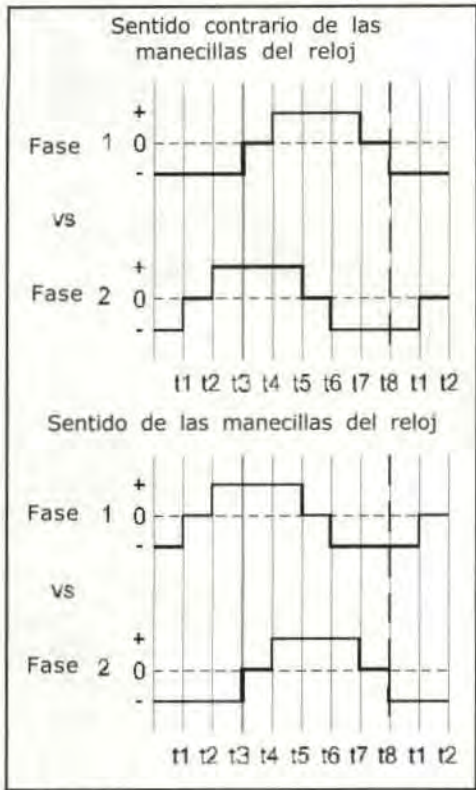


Figura 10. Diagrama de corriente para un motor paso a paso de 2 fases impulsado en medio paso.

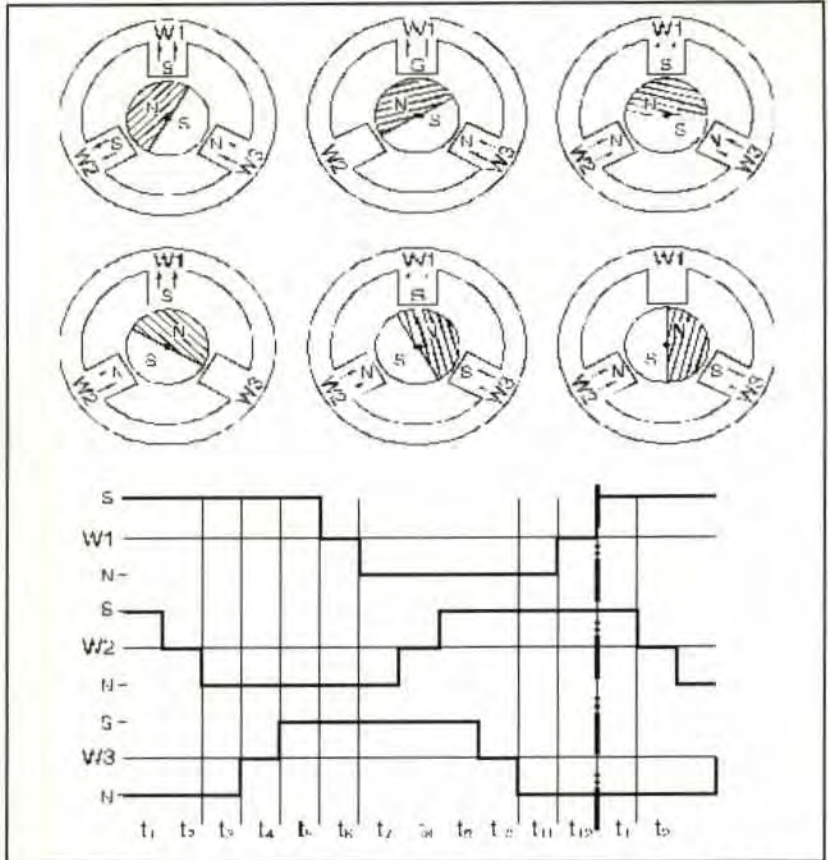


Figura 11. Secuencia a pasos y diagrama de corriente de un motor paso a paso de 3 fases

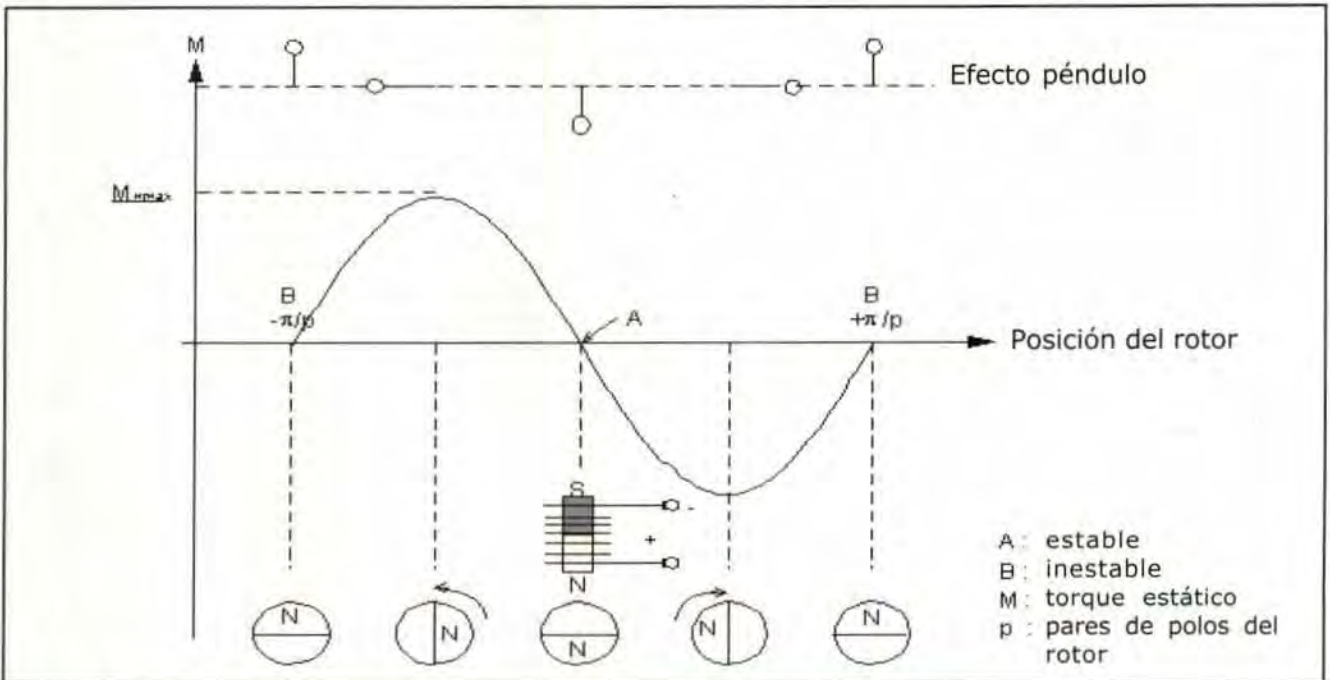


Figura 12. Curva ilustrativa del torque estático versus la posición del rotor

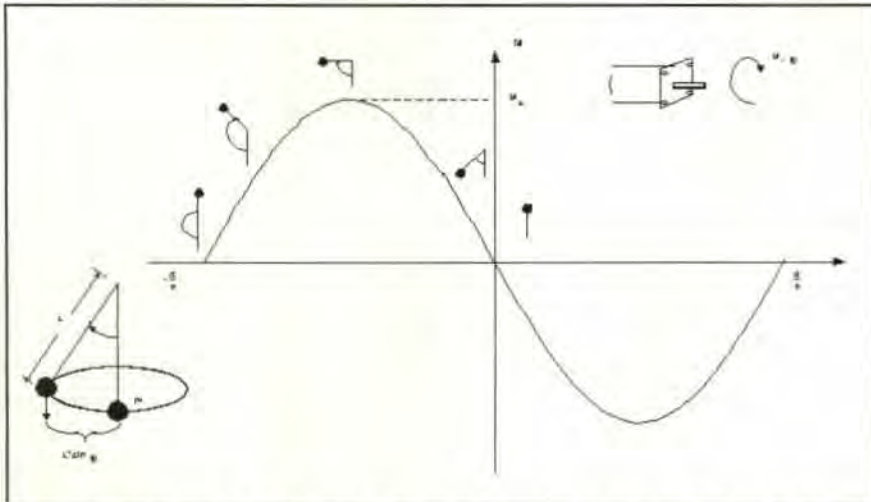


Figura 13. Efecto de péndulo o torque estático versus la posición del rotor

Dependiendo del número de fases, el ciclo en las figuras 12 y 13 equivalen al siguiente número de pasos completos.

2 fases 4 pasos

3 fases 6 pasos

5 fases 10 pasos

El torque requerido para girar el eje en un cierto ángulo puede calcularse usando la fórmula:

$$M = - M_H * \text{sen}(p * \Psi)$$

A pesar de que esta característica de torque no es de gran utilidad por sí sola, sí explica algunos de los efectos que se observan. Por ejemplo, ella dicta la rigidez del sistema, en otras palabras, cómo la posición del eje cambia cuando una carga es aplicada a un rotor estacionario. El eje debe desviarse hasta que el torque generado sea emparejado con la carga aplicada. Por tanto, la posición estática varía con la carga.

Ángulo de carga estático

El ángulo de carga estático se

define como el ángulo entre la posición actual del rotor y la posición final estable para una carga dada. La figura 14 ilustra (tanto para paso completo como para medio paso) que a medida que el torque se incrementa lo mismo ocurre con la desviación o

giro desde la posición estable.

El ángulo de carga estático puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{dM_\Psi}{d} = p * M_H * \cos(p * \Psi)$$

Torque de fricción

El torque de fricción es la carga implementada en el eje a través de tolerancias mecánicas en la aplicación.

La Figura 14 ilustra cómo para una carga dada (M_L) el torque de fricción (M_R) debe considerarse si se requiere un posicionamiento preciso.

Este fenómeno puede explicarse

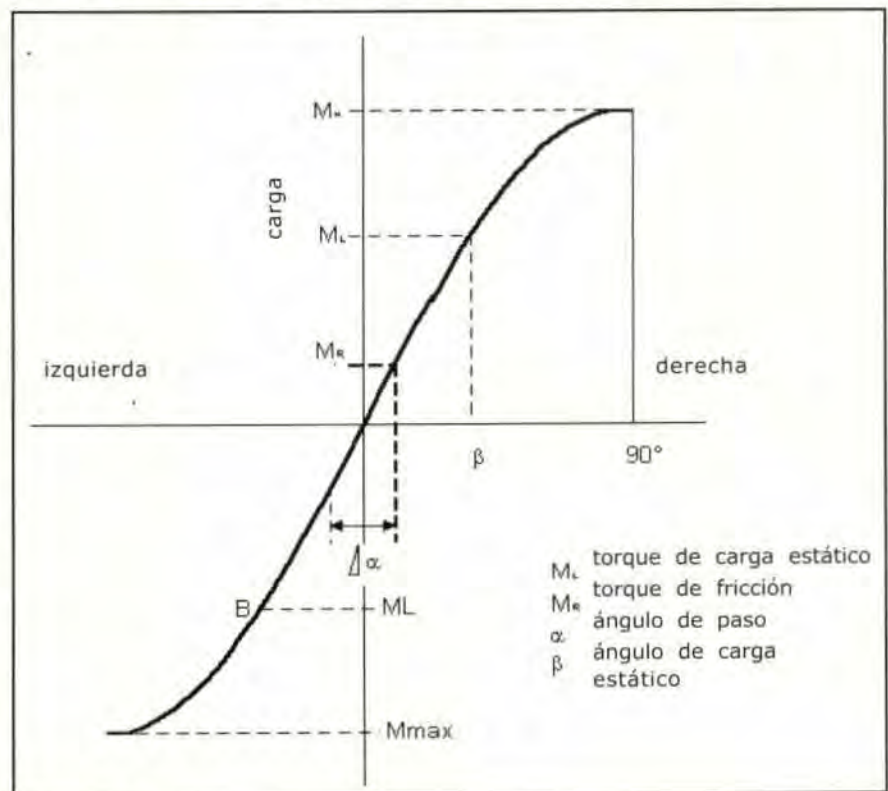


Figura 14.

usando el modelo de montaña (Figura 15). A pesar de que la pelota trata de encontrar su lugar natural de descanso, la fricción sobre la superficie evita que esto ocurra.

Tolerancia angular sistemática

La "tolerancia angular sistemática" es la desviación desde la posición teóricamente correcta de cualquier paso angular. También conocida como "precisión absoluta", puede expresarse como porcentaje de un paso completo o como una medición angular. No es acumulativa dado que se mantiene constante para cualquier paso angular.

La "tolerancia angular sistemática" es causada por tolerancias durante la fabricación del motor (o sea diferentes resistencias en los bobinados, magnetización desigual de magnetos, entrehierros, etc.) y en la electrónica de control del motor. A pesar de que las técnicas modernas de fabricación disminuyen estos valores, deben considerarse para mayor seguridad.

Ángulo de carga estático y dinámico

La "curva del ángulo de carga estático" (figura 14) ilustra lo que le pasa a un motor paso a paso estacionario bajo carga. Por tanto, si el mismo está produciendo torque, deberá estar retrasado con respecto al campo del estator bajo condiciones dinámicas. De forma similar habrá una situación de adelantamiento durante la desaceleración. A partir de la curva de torque estático, es claro que el atraso o adelanto no puede exceder el máximo torque de de

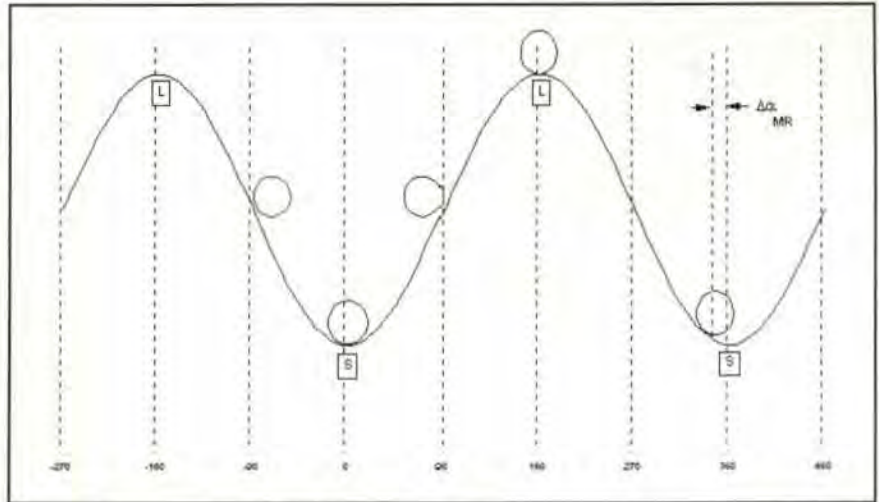


Figura 15. El modelo de la montaña

mantenimiento si el motor debe mantener su sincronismo. Por tanto, para un motor paso a paso híbrido (50 pares de polos) el máximo ángulo de atraso o adelantamiento es 3.6 o, dependiendo del número de fases 2, 3, ó 5 pasos completos. La figura 16 ilustra el retraso máximo que ocurre bajo condiciones de carga dinámica.

Resonancia

El fenómeno de la "resonancia" se presenta en algún grado en todos los motores paso a paso. Resonancia es el término usado para definir el efecto que ocurre cuando los motores paso a paso rotan a su frecuencia de oscilación natural. El salto a esta frecuencia

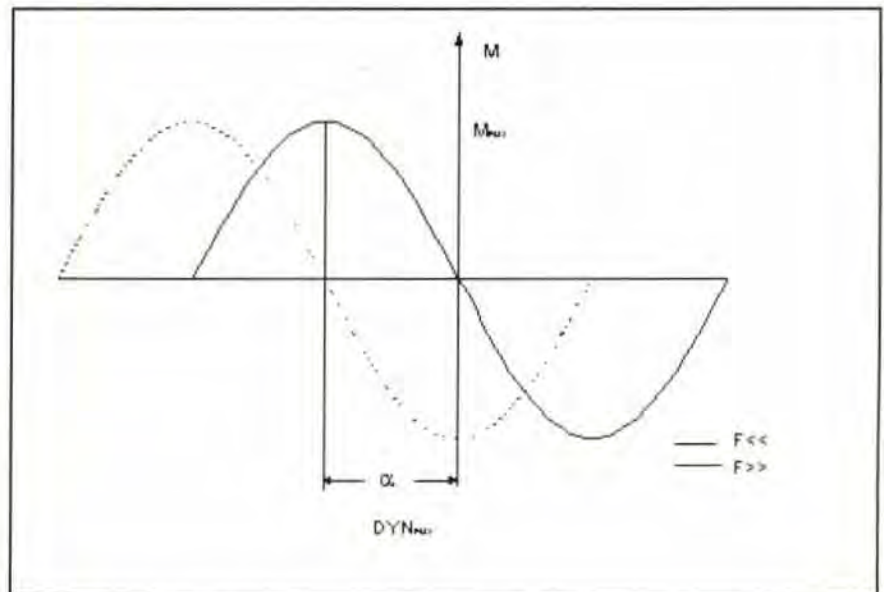


Figura 16. Curva de carga dinámica

natural puede producir una pérdida de sincronismo e incluso que el motor se detenga.

Para motores paso a paso híbridos bajo condiciones sin carga esta resonancia ocurre entre los 80 a 200 Hz., o sea 80 a 200 pasos por segundo. La resonancia de un motor paso a paso se puede calcular usando la fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{J_R}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p^* M_H}{J_R}}$$
 a e s pasos o micro-pasos, cambiando la frecuencia de resonancia a través de variaciones en la inercia del sistema, en la fricción mecánica o eléctrica, por ejemplo,

incrementando la inercia del sistema o la fricción conocida en forma general como "damping" en Inglés.

Fluctuaciones del torque

Si un motor es impulsado cerca a su torque de trabajo, las fluctuaciones del torque pueden tener un efecto de resonancia. Las fluctuaciones del torque se ilustran en los "diagramas de torque dinámico" (Figuras 17 y 18). Se observa claramente las mejoras obtenidas con el aumento de la resolución y los micro-pasos.

Como se mencionó anteriormente, las corrientes en un motor de 3 fases son controladas con una onda sinusoidal. A pesar de que esta técnica de conmutación es más exigente que la conmutación

en bloque usada en los motores paso a paso de 2 y 5 fases, esta ofrece considerables beneficios en sus características de operación.

Cuanto mayor sea la resolución, menor será el cambio de corriente por paso, o sea mayor la aproximación a la función sinusoidal. Esto asegura que el motor tenga una menor fluctuación de corriente y subsecuentemente una menor fluctuación del torque. Dado que sólo el componente fundamental de la onda sinusoidal genera el torque, cualquier fluctuación tiene un efecto de calentamiento sobre el motor, el cual se disipa fácilmente a través de la estructura del motor.

Esta menor tendencia a la fluctuación tiene además un efecto positivo al reducir el ruido acústico.

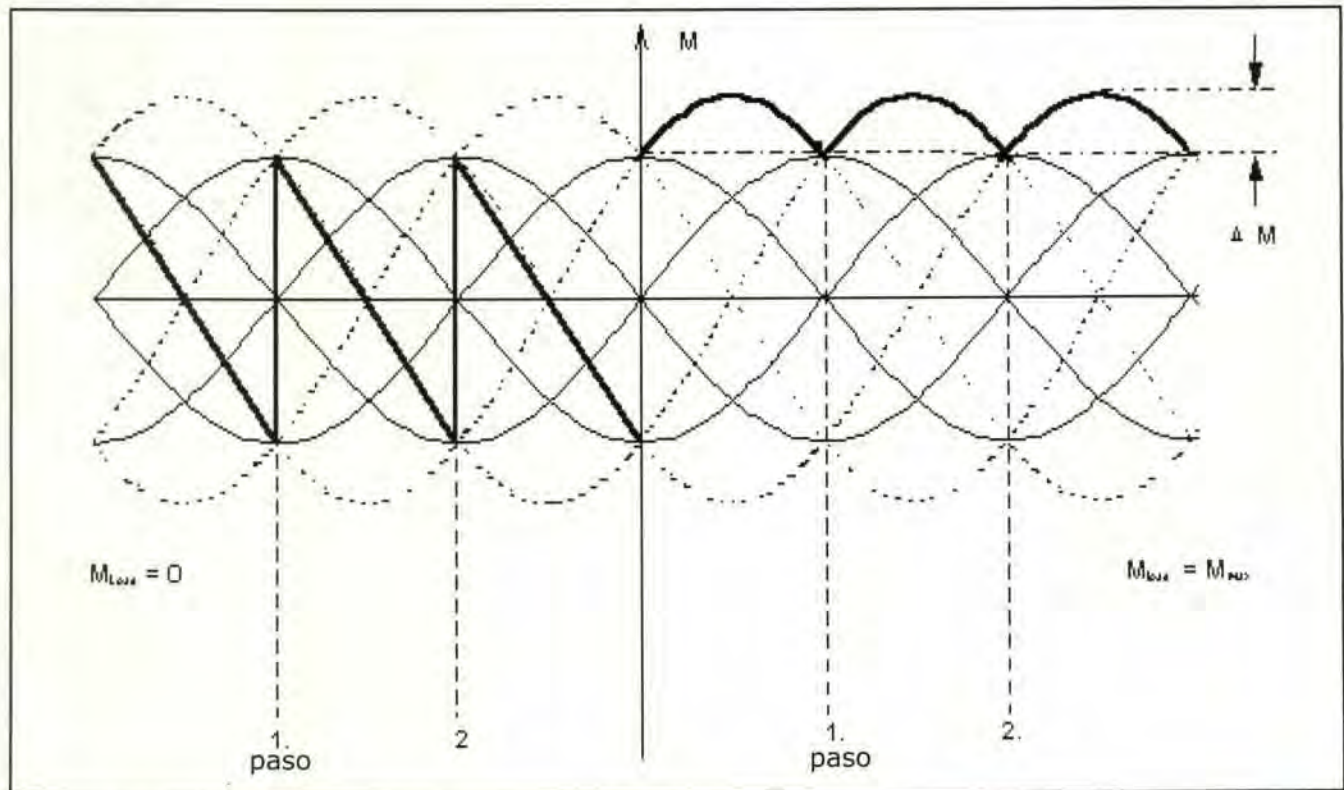


Figura 17. Diagrama de torque dinámico para un motor paso a paso de 2 fases

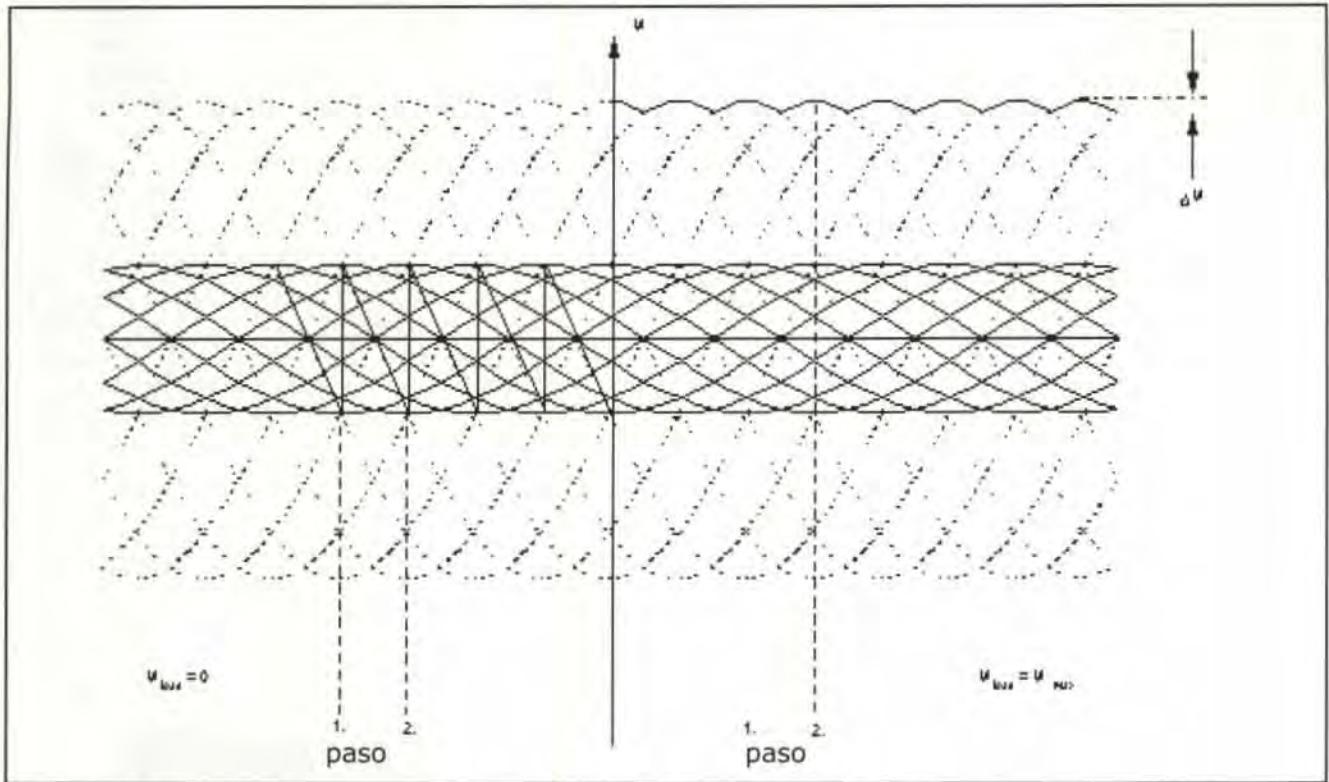


Figura 18. Diagrama de torque dinámico para un motor paso a paso de 5 fases

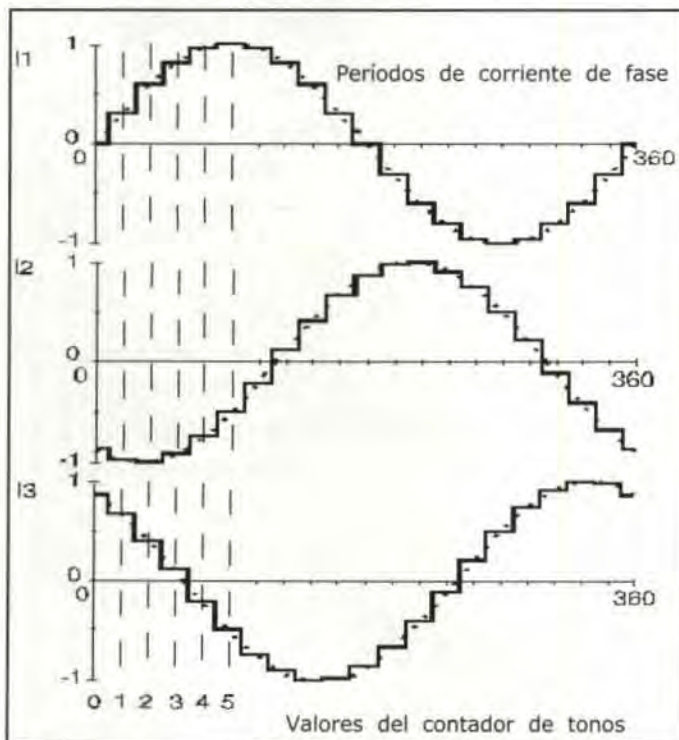


Figura 19. Conmutación de onda sinusoidal de un motor paso a paso de 3 fases

Definiendo la frecuencia de arranque / parada

Para el más simple de los requerimientos, impulsar el motor en su modo de arranque/parada es el método que menos tiempo consume. La frecuencia de arranque sin carga máxima (f_{Aom}) siempre es dada por los fabricantes y obviamente se reducirá cuando el motor es acoplado a una carga M_L y a su subsiguiente inercia de carga J_L .

La dependencia de la frecuencia de arranque con la carga se ilustra en dos curvas logarítmicas. (figura 20)

Estas curvas se usan de la siguiente manera:

1. Ubicándose en la curva de inercia, la carga de inercia (JL) es trazada y transportada a la curva de torque.
2. A partir de éste punto de inicio, y en forma paralela a la máxima frecuencia de arranque sin carga (f_{Aom}), se dibuja una nueva curva de frecuencia de arranque que considere a la

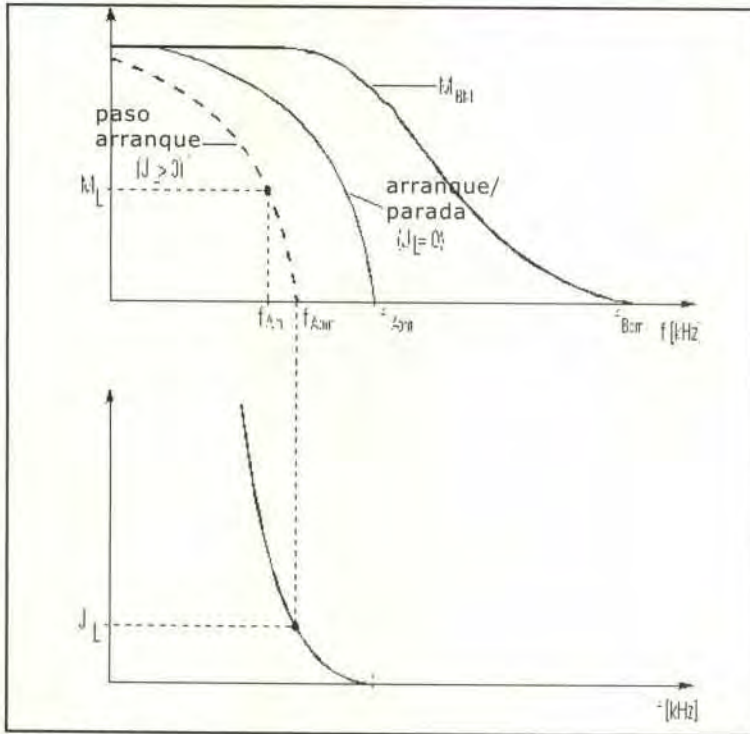


Figura 20.

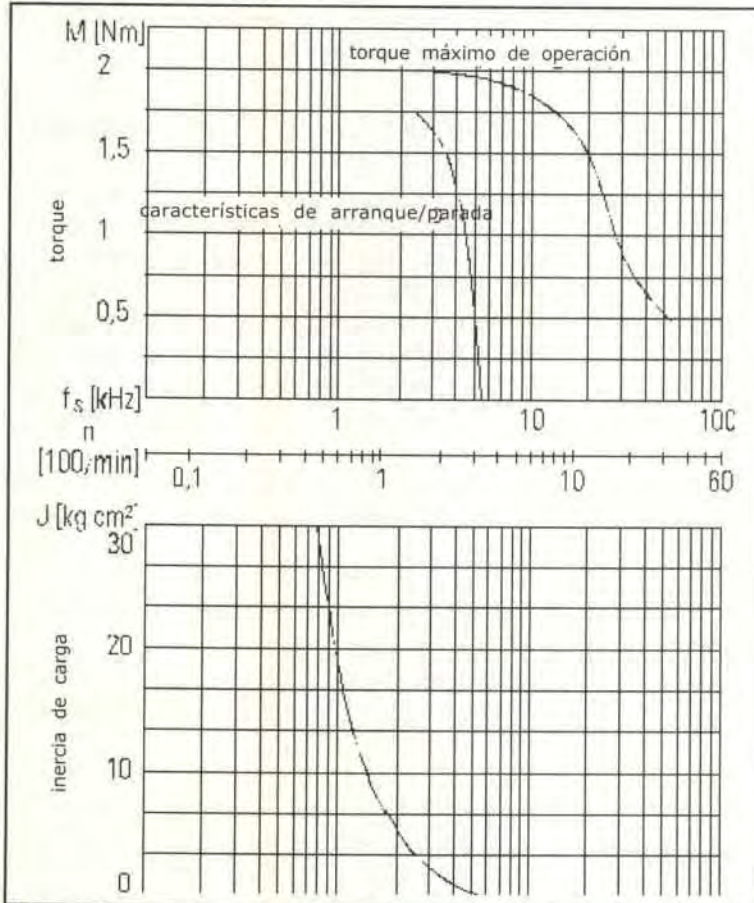


Figura 21.

inercia de carga.

- Desde el torque conocido de carga y la nueva curva de frecuencia de arranque, se puede encontrar la máxima frecuencia de arranque/parada.

Escrito por Steve Jennings, Editado para World Wide Web por Jim Huntley, correcciones y adaptaciones por Richard Massara. Tomado de Internet en: http://www.sapiens.itgo.com/motores_por_pasos

Correos de Colombia



ADPOSTAL

Llegamos a todo el mundo!

Concurso Nacional de Belleza
Caribena e Indias \$800



COLOMBIA

Llame gratis a nuestras nuevas líneas de atención al cliente

018000-915525
018000-915503

Visite nuestra página web
www.adpostal.gov.co