

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA  
CENTRO EDUCACIONAL "REY BALDUINO DE BELGICA"  
TALCAHUANO

T621.383

Le 46

1981

c.1

TRABAJO FINAL DE CARRERA PARA OPTAR  
AL TITULO DE TECNICO UNIVERSITARIO  
CON MENCIÓN EN ELECTRONICA INDUSTRIAL.

"COMANDO ELECTRONICO DE UN STEPPER MOTOR"



482

PROFESOR GUIA : SR. SERGIO BRICENO MUCKE

ESTUDIANTE : JORGE RENE ZENTENO VILLALOBOS



CORRECCIONES Y OBSERVACIONES AL TRABAJO FINAL DE CARRERA

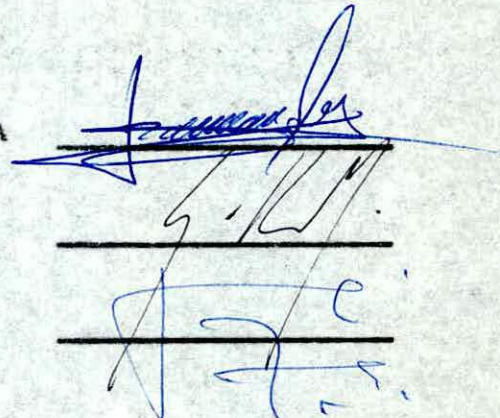
Pág. 36, 4º párrafo: los flip-flops realizados son de tipo D.

El trabajo no presenta otras correcciones u observaciones de consideración; fue calificado con Nota Final de 96% (Noventa y seis por ciento).

RAMON SAAVEDRA R., JEFE SECCION ELECTRONICA

SERGIO BRICEÑO M., PROFESOR GUIA

FELIPE TURCSANYI R., MIEMBRO COMISION

Handwritten signatures in blue ink over three horizontal lines. The top signature is the most prominent and appears to be 'Ramon Saavedra R.'. Below it are two more signatures, one of which is partially obscured by the line above it.

Talcahuano, 30 de junio de 1981.

CON CARIÑO

" A MI ESPOSA Y MIS HIJAS "

## I N D I C E

	Pág. No
INTRODUCCION .....	01
I. El motor de operación escalonada - Stepper Motor	02
1.1. Generalidades .....	02
Ilustraciones de algunas aplicaciones .....	05
1.2. Construcción y Comando básico de un Stepper Motor .....	06
Notas tecnológicas .....	10
1.3. Comando de un Stepper Motor .....	13
Sistemas eléctricos de Motores Steppers ....	15
1.4. Especificaciones técnicas generales de un Stepper Motor .....	17
2. El Stepper Motor PD-16 (Philips)	21
2.1. Estructura del Stepper Motor PD-16 .....	22
Identificaciones de los terminales del Stepper Motor PD-16 .....	23
2.2. Especificaciones del Stepper Motor PD-16 ...	25
Datos de placa del Stepper Motor PD-16 .....	26
Observaciones a la estructura del Stepper Motor PD-16 .....	27
Tabla de secuencia lógica deducida del esquema en que se muestra la estructura del Stepper Motor PD-16 .....	29
Tabla de la secuencia lógica no deseada producida por el contador de módulo 16 .....	29

	Pág. N°
3. Unidad Electrónica de Comando para el PD-16.....	30
3.1. Circuito propuesto por la Philips .....	31
Elementos propuestos por la Philips .....	32
Circuito lógico real ensayado .....	33
Modificación al circuito lógico .....	35
Funcionamiento del circuito lógico del Ste-	
pper Motor PD-16 .....	36
Funcionamiento e importancia de la acción	
de Clear .....	37
Circuito de Comando de potencia .....	40
Circuito propuesto por la Philips .....	41
Funcionamiento de la configuración de po-	
tencia .....	41
3.2. Modificación al circuito control de poten-	
cia propuesto por la Philips .....	42
3.3. Ensayo del Stepper Motor PD-16 .....	43
4. CONCLUSIONES .....	45
4.1. Circuito propuesto para la acción de Clear	47
BIBLIOGRAFIA .....	50



## I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo, versa sobre el comando electrónico del Stepper Motor PD-16 y tiene por objeto ensayar el circuito de comando propuesto por el fabricante (PHILIPS).

Para comprender con mayor facilidad el funcionamiento del circuito de comando, se expondrá la operatividad de un Stepper Motor básico para luego orientar el trabajo hacia el Stepper Motor PD-16.

# I. EL MOTOR DE OPERACION ESCALONADA - Stepper Motor

## 1.1. GENERALIDADES

Se trata de una máquina eléctrica, que transforma información eléctrica (en forma de pulsos) en un movimiento mecánico de rotación, de tipo escalonado (o por pasos).

La podemos imaginar como una máquina que cada vez que recibe un pulso eléctrico, su eje gira (por ejemplo) en  $7,5^{\circ}$  geométricos.

Los grados geométricos por pulsos, definen un primer parámetro característico de la unidad. Este parámetro se conoce como "Paso" (Step) o bien "Index Angle" y existen máquinas de variados pasos. A continuación se citan algunos ejemplos en la tabla N° 1.

Stepper Motor o Steping Motor	Angulo de paso Step angle	Número de pulsos para un giro de $360^{\circ}$ geométricos
PD 10	$7^{\circ}30'$	48
PD 12	$3^{\circ}45'$	96
ID 16	$15^{\circ}$	24
PD 16	$3^{\circ}45'$	96
Clifton MSL-8-A-1	$90^{\circ}$	4
Philips PD 22 (SMD 23)	$15^{\circ}$	24

Tabla N° 1.

Resulta evidente que este parámetro sólo es modificable mediante sistema de transmisión mecánica de movimien-

tos (entendemos engranajes, sistemas de poleas, y otros similares). El conjunto electromecánico tendrá entonces un paso definido por el parámetro característico del motor, y la relación de transformación de desplazamiento del sistema mecánico asociado.

Las aplicaciones de estos motores se definen en tres campos generales:

- a) Conversor de información eléctrica (cantidad de pulsos) en posición mecánica. Esta operación se conoce bajo la designación de "seguidor de pulsos" o "pulse follower".
- b) Motor para servo motor. En este caso el motor se posiciona (o mejor dicho, se posiciona su eje) en uno u otro sentido de acuerdo a la información de error del lazo de control. Cuando el error es nulo (carencia de pulso) el eje de la máquina estará en reposo. En este campo de las aplicaciones, se encuentra como actuador de válvulas de control de procesos y comandos por medios de computadores (DDC, direct digital control).
- c) Motor sincrónico de velocidad variable (Variable speed Motor). En este caso el motor recibe un tren de pulsos de frecuencia dada (que puede ser modificable). En consecuencia girará a velocidad constante si la frecuencia es constante. Es simple deducir que en estas condiciones, siendo:

La frecuencia de los pulsos en Hz =  $f$

El ángulo de paso =  $P$

La velocidad en RPM. ó  $\text{min}^{-1}$

$$n = \frac{f \cdot P}{3600} = \text{Vueltas en 1 segundo}$$

$$n = \frac{P \cdot f}{3600} \cdot 60 \text{ seg} = \frac{P \cdot f}{6} = \text{RPM}$$

En esta forma es posible controlar la velocidad de giro directamente a través de los pulsos por segundo (frecuencia) que entrega la fuente de alimentación. En estos motores pueden girar a velocidades por sobre las 1000 RPM, estimulados por frecuencias que sobrepasan el kilo Hertz.

ILUSTRACIONES DE ALGUNAS APLICACIONES

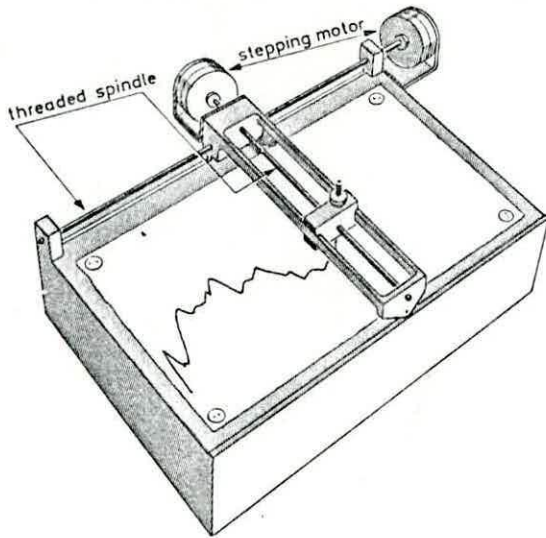


Fig. N° 1 Inscriptor X-Y

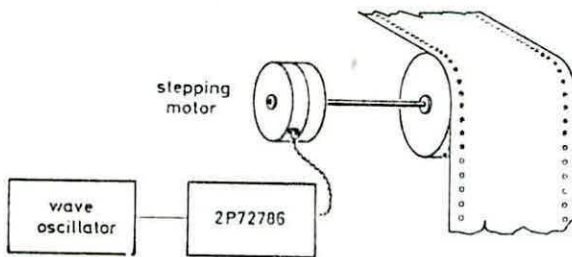
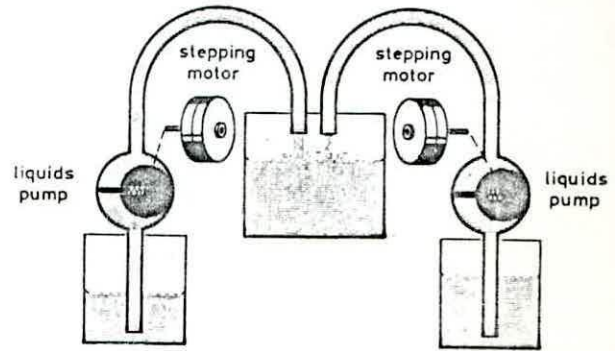


Fig. N° 2 Tracción cinta de TELEX



Mixing of liquids.

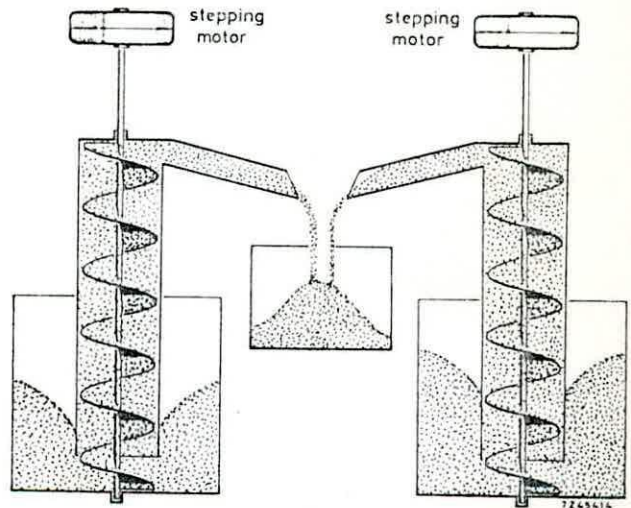
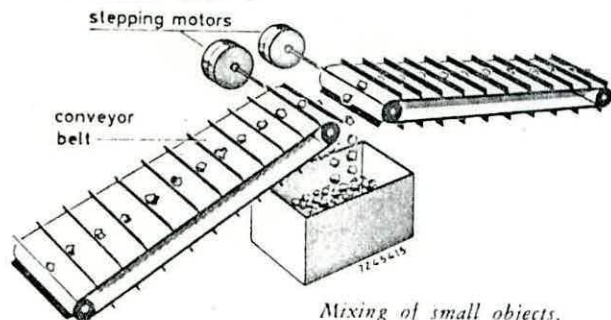


Fig. N° 3 Mezcla de fluidos y Mezcla de granos.



Mixing of small objects.

Fig. N° 4 Mezcla de objetos pequeños

## 1.2. CONSTRUCCION Y COMANDO BASICO DE UN STEPPER MOTOR P.M. (Permanent magnet).

En general los motores de Reluctancia variable son empleados bajo requerimientos de altos torques. El motor de imán permanente tiene un campo de aplicaciones mucho más amplio y presenta ventajas comparativas en términos de respuesta en el tiempo (mejor amortiguación y menor overshoot).

En la figura N° 5 se representa un motor de cuatro fases y 2 polos en el rotor. Esto significa que en estator hay 4 fases y el rotor tiene 2 polos de imanes permanentes. Entonces el rotor incorpora 2 imanes permanentes y el estator doble o de dos estatores, incorpora las bobinas de excitación. La forma física de las piezas polares, corresponde a lo que se muestra en la figura N° 5.

Para el comando del motor se han dispuesto: los conmutadores y la fuente de alimentación CC. Las fases P, Q, R, y S, que son las que aparecen indicadas. Supondremos que en las posiciones de los conmutadores de la figura N° 5-a, los polos se ubican en la forma que se muestra y entonces el rotor toma la posición indicada "1". Notar que en estas condiciones se es tán alimentando sólo las fases P y R en estator. - Al cambiar la posición del conmutador C1, se pasa a alimentar el devanado Q del estator PQ, quedando el estator RS en las mismas condiciones originales, por lo tanto se invierte la polaridad del estator PQ posicionándose el rotor en la posición indicada "2" en la figura N° 5-b.

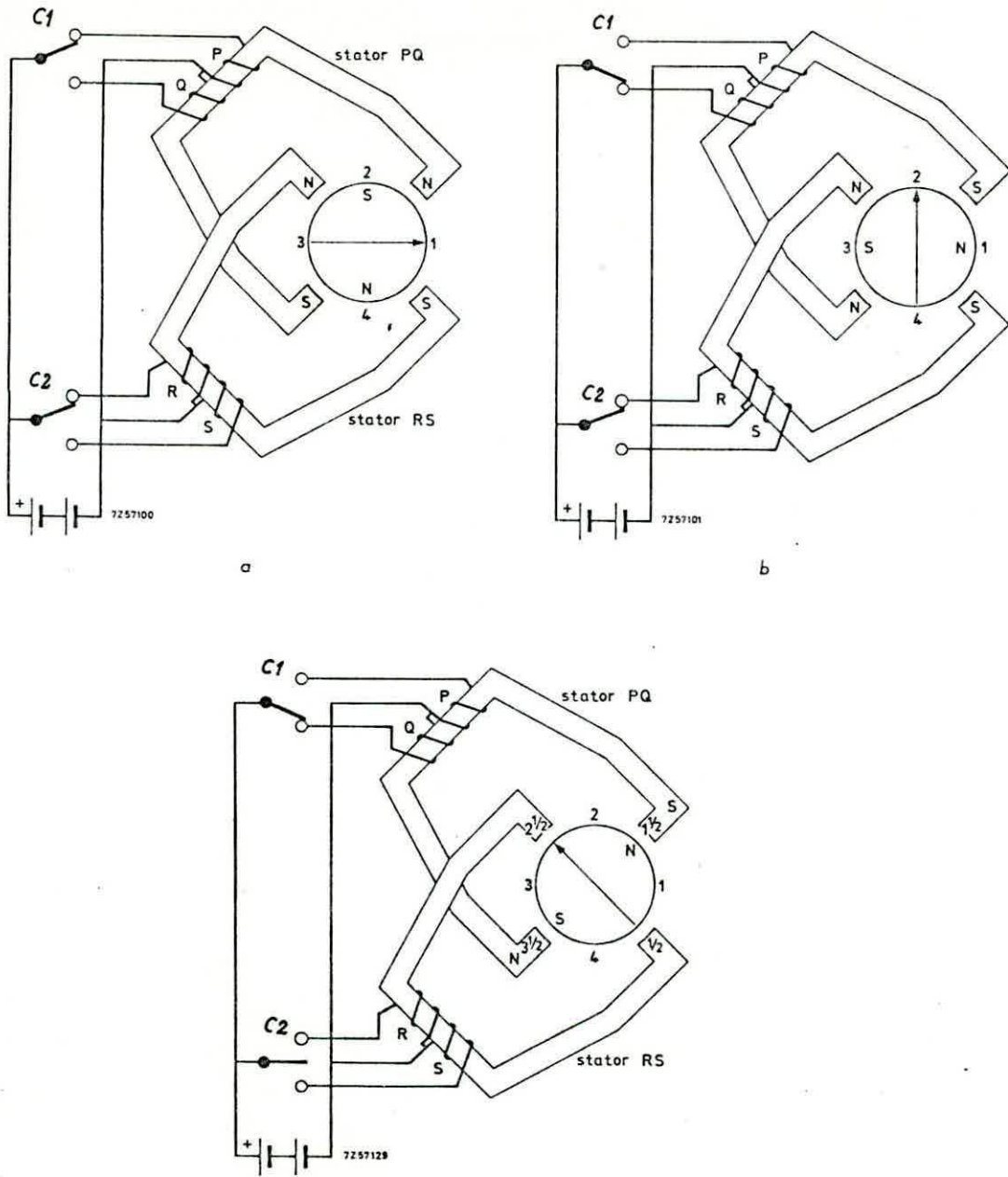


Fig. NO 5.

Mediante un pulso, es posible lograr el cambio de posición de la llave conmutadora C1, ésto dá como resultado, un ángulo de giro de  $90^{\circ}$  CCW (counter Clockise).

En la figura NO 5-c, se muestra aún otra posibilidad. Las bobinas RS están desenergizadas por lo que no existe

campo magnético por efecto de estator. Sólo tendremos el campo de estator formado por la bobina Q. Entonces el rotor se posiciona en "2 1/2". En esta forma es posible conseguir un paso de  $45^{\circ}$  (un estator desenergizado) aunque estas modalidades no suelen emplearse por efecto de la reducción de torque, que implica la no alimentación de algunas de las bobinas.

En la tabla N<sup>o</sup> 2, se muestra la secuencia de alimentación de las fases para conseguir un paso de  $45^{\circ}$ , con este Stepper Motor.

Fases Energizadas	Estatores Desenergizados	Angulo de giro.	Dirección de Rotación
P,R	-	Posición "1"(0 <sup>o</sup> )	Referencia
R	P,Q	-45 <sup>o</sup>	
R,Q	-	-90 <sup>o</sup>	
Q	R,S	-135 <sup>o</sup>	
Q,S	-	-180 <sup>o</sup>	
S	P,Q	-225 <sup>o</sup>	
S,P	-	-270 <sup>o</sup>	
P	R,S	-315 <sup>o</sup>	
P,R	-	Posición "1"(0 <sup>o</sup> )	Referencia

Tabla N<sup>o</sup> 2

Se aprecia en la tabla N<sup>o</sup> 2 que mediante un comando lógico es posible provocar un giro de  $45^{\circ}$  en uno u otro sentido (independiente de la posición original del eje del motor) por cada pulso de estímulo. La figura N<sup>o</sup> 6 muestra en bloques el circuito de comando secuencial para la alimentación de las bobinas del Stepper Motor.

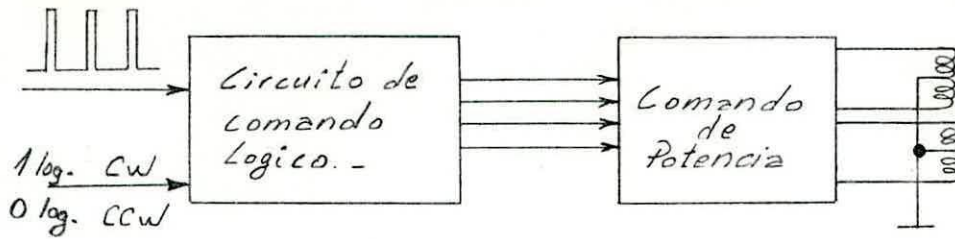


Figura N° 6.

Con la idea expuesta a través de la figura N° 5, es posible plantear soluciones para otras estructuras de motores. En la figura N° 7 se presenta un motor Stepper de 8 fases y 2 polos. Esto dá lugar a un paso de  $45^\circ$ , sin rotor desenergizado.

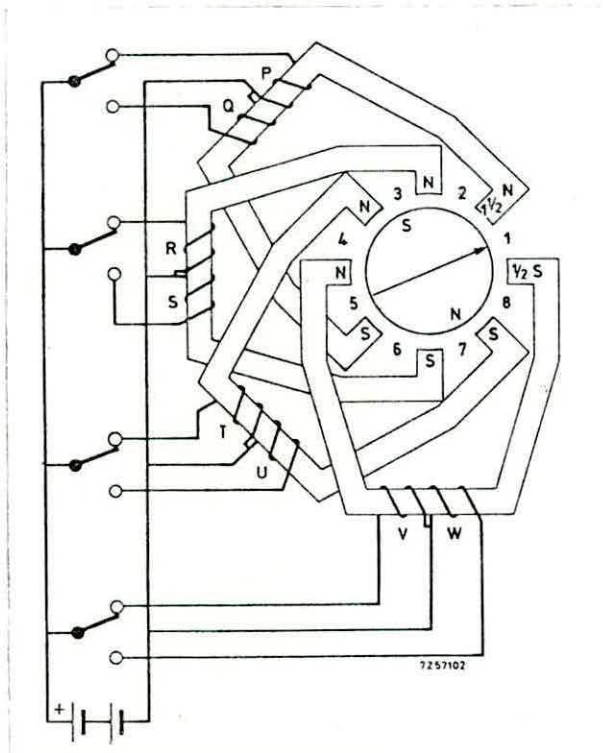


Figura N° 7.

En este caso (fig. N°7) se logra un paso de  $45^{\circ}$  mediante la conmutación secuencial de los switch. Una característica importante de esta configuración: cuando se conmuta de un fase a la siguiente (por ejemplo cuando se desenergiza todo un estator) permanece un 75% del torque disponible ya que los otros estatores aún permanecen energizados. En cambio en la configuración de la figura N° 5 en donde también era posible conseguir un paso de  $45^{\circ}$  - Existirá una reducción del torque al 50% con un estator desenergizado.

Por último, es necesario decir que es posible disminuir el paso angular para conseguir una mayor resolución, disponiendo de un mayor número de polos en el rotor. En el siguiente punto (sobre Notas Tecnológicas) se muestra un motor de  $7,5^{\circ}$  de paso.

### Notas Tecnológicas

A modo ilustrativo en la figura N° 8 se muestra el corte de un motor Philips AU5055/80 (del año 1968 aproximadamente). La figura N° 9 muestra un diagrama expandido del motor y finalmente la figura N° 10 muestra distintas partes constitutivas. La figura N° 11 nos muestra la representación eléctrica de la máquina. Se trata de un Stepper Motor de dos estatores y un rotor. Existen dos fases por estator y el rotor tiene doce pares de polos (de imanes permanentes). Con ello se logra un paso de  $7,5^{\circ}$  y 48 pasos por revolución.

Las bobinas de estator están realizadas en forma

de anillos constituyéndose los polos de los estatores mediante las láminas dobladas de la carcaza. Notar que las "ventanas" que quedan en la carcaza son de las láminas dispuestas para crear un polo. En esta forma se crea una disposición magnética como la que se muestra en la figura N° 9. Cada una de las piezas polares de estator está construída por un par de láminas. Se indica un par de polos en la figura N° 10.

En la tabla N° 3 se muestra la secuencia de excitación de las bobinas A y B según la figura N° 9.

Rotación CW Posición			Rotación CCW Posición		
SW1	SW2	Paso	SW1	SW2	Paso
B	B		B	B	
B	A	1	A	B	1
A	A	2	A	A	2
A	B	3	B	A	3
B	B	4	B	B	4

Tabla N° 3

Cabe hacer notar que este motor no opera con estator desenergizado.

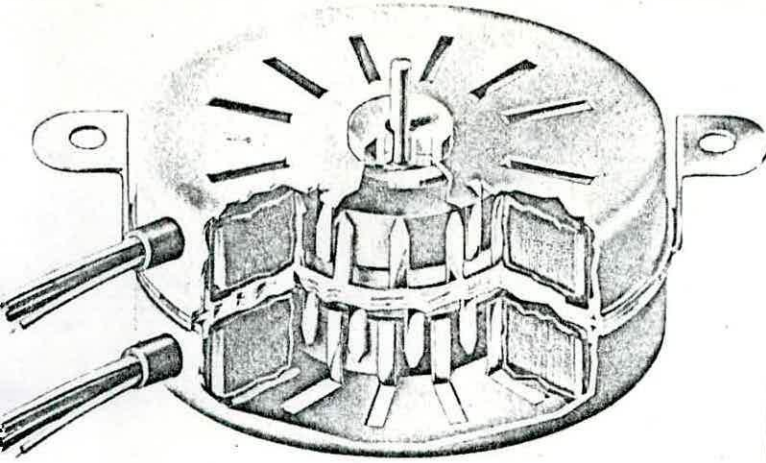


Fig. N° 8

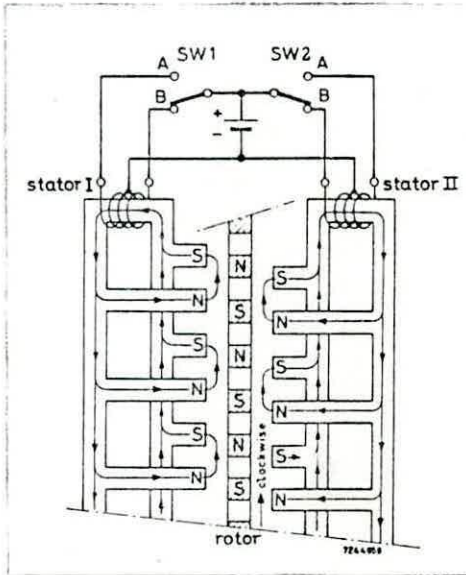


Fig. N° 9

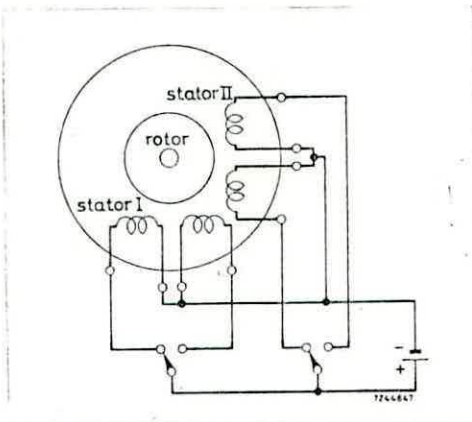


Fig. N° 11

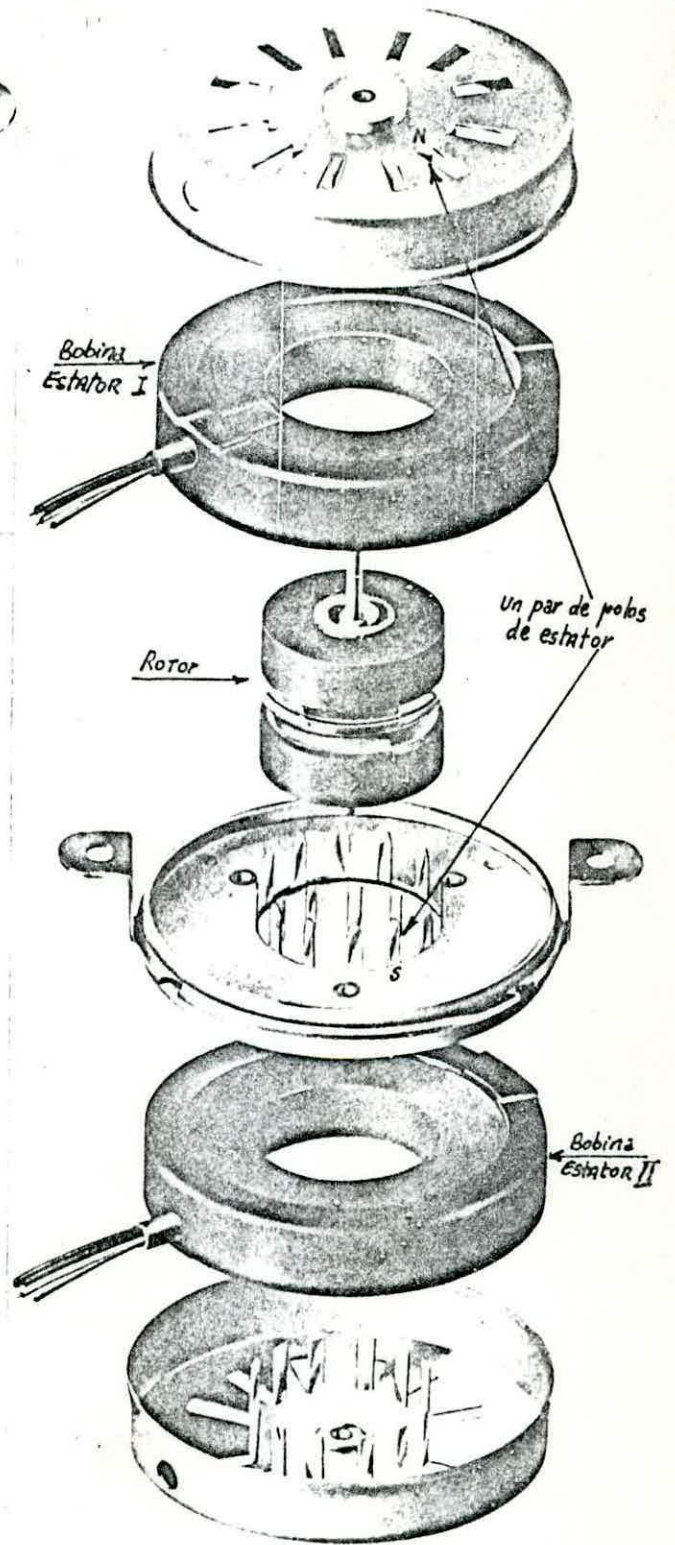


Fig. N° 10

### 1.3. COMANDO DE UN STEPPER MOTOR

La idea más simple de comando, es mediante la conmutación mecánica de los interruptores, así como lo muestran las figuras N° 12 y 13.

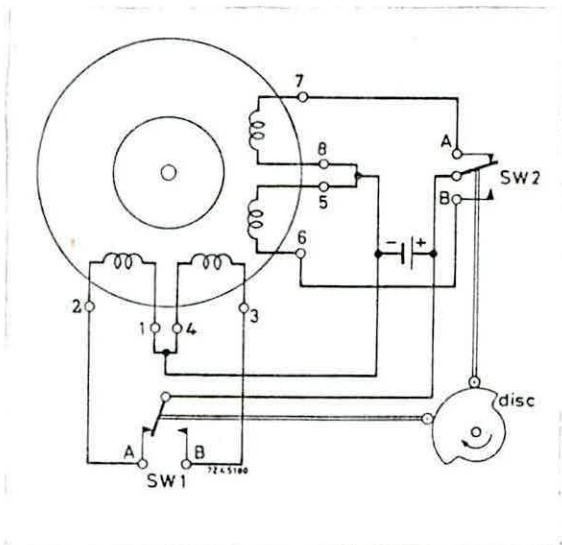


Fig. N° 12

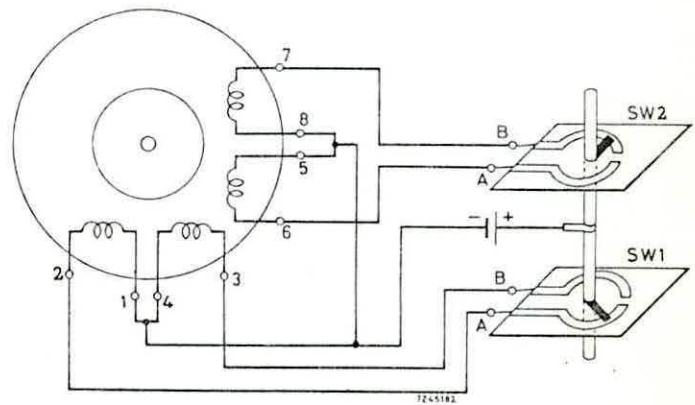


Fig. N° 13

Sin embargo, se debe pensar en métodos de conmutación electrónica para lograr las mejores condiciones de operación. En esta forma se podrán emplear directamente como actuadores electromecánicos comandados por información digital (ver Fig. N° 6). Para la conmutación electromecánica, la corriente en cada fase deberá alcanzarse y establecerse en su valor máximo (determinado por el efecto Ohmico de la bobina) en un tiempo mínimo. De la misma forma, la corriente deberá pasar de su valor máximo a cero en tiempo mínimo. Esto es una dificultad debido a la inductancia de las bobinas (más bien altas), que generan con el efecto Ohmico, una constante de tiempo que no es despreciable ( $L/R$ ). De allí que se empleen

algunos componentes asociados con las bobinas para lograr las condiciones óptimas de conmutación. La figura N° 14 muestra una posibilidad.

R y C son componentes adicionales. L es la inductancia de la bobina de una fase. En el circuito, de no existir ni C ni R, la corriente tenderá a establecerse con una constante de tiempo muy alta (casi integración). En cambio los componentes adicionales R y C la corriente se establece a través de una respuesta de segundo orden, en donde, adecuadamente dimensionados los componentes adicionales, se logra una respuesta rápida y con un mínimo de "overshoot".

Esto implica si, elevar la tensión de alimentación para lograr el valor estacionario de corriente, por efecto de la nueva resistencia presente.

Otra alternativa muy empleada hoy en día es el comando de las bobinas a través de fuentes de corriente (fig. N° 16). En esta forma se asegura respuestas muy rápidas ya que los escalones aplicados serán de corrientes. Se deberá proteger los devanados frente a los impulsos de tensión inducida por efecto de la conmutación.

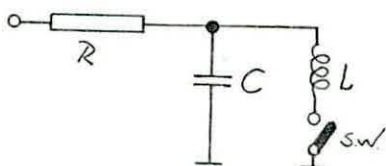
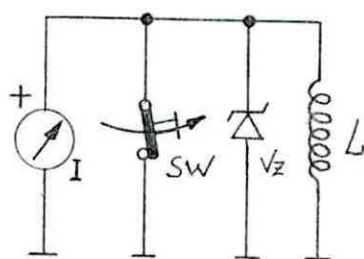


Fig. N° 14

Fig. N° 15



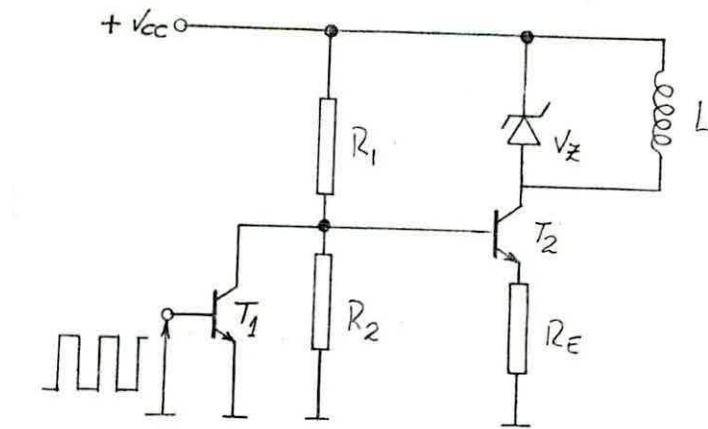
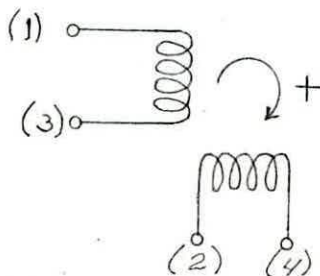


Fig. N° 16

### SISTEMAS ELECTRICOS DE MOTORES STEPPERS

Al momento de han visto algunas formas de disponer los devanados de estator de estas máquinas, con el fin de lograr el efecto escalonado sobre el rotor. Existen variadas formas, algunas de las cuales se resumen en las figuras N° 17, a, b, c.

#### MOTOR DE DOS FASES, excitación bipolar



PASO	(1)	(2)	(3)	(4)
1	+	+	-	-
2	+	-	-	+
3	-	-	+	+
4	-	+	+	-

Tabla N° 4

Fig. N° 17-a.

MOTOR DE TRES FASES, excitación unipolar

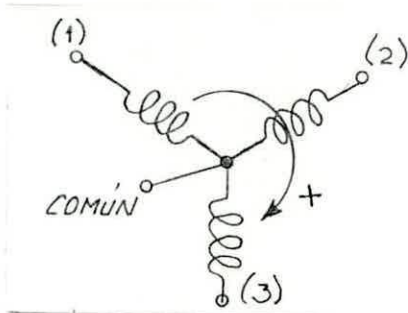


Fig. N° 17-b

Paso	(1)	(2)	(3)	Común
1	-	OFF	OFF	+
2	OFF	-	OFF	+
3	OFF	OFF	-	+

Tabla N° 5

MOTOR DE CUATRO FASES, excitación unipolar dual y simple

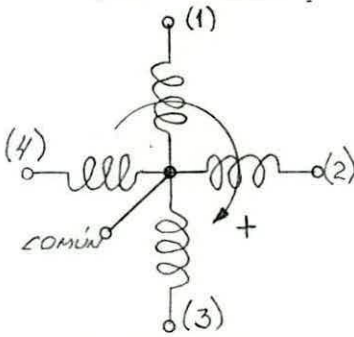
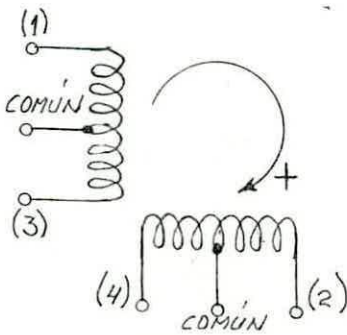


Fig. N° 17-c

Excitación dual unipolar

Paso					Común
1	-	-	OFF	OFF	+
2	OFF	-	-	OFF	+
3	OFF	OFF	-	-	+
4	-	OFF	OFF	-	+

Tabla N° 6



Excitación simple unipolar

Paso	(1)	(2)	(3)	(4)	Común
1	-	OFF	OFF	OFF	+
2	OFF	-	OFF	OFF	+
3	OFF	OFF	-	OFF	+
4	OFF	OFF	OFF	-	+

Tabla N° 7

Los sistemas mostrados en la fig. N° 17 hacen uso de excitación unipolar (alimentación con una sola fuente) y alimentación de tipo bipolar (alimentación con dos fuentes independientes).

#### 1.4. ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES DE UN STEPPER MOTOR

Veremos los parámetros revelantes de un Stepper Motor. Para ello tomaremos un Stepper marca Clifton Precisión (USA). Se trata de la máquina 11-SPAA-17 de imanes permanentes en rotor. Anota las siguientes especificaciones:

- a) Motor : 11-SPAA-17 de la Clifton Precision.
- b) Tipo : Permanent magnets. (PM).
- c) Index Angle (Deg.) :  $45^{\circ}$  (paso).
- d) Input Volts DC : 15
- e) Input current (Amp/Phase) : 0,469
- f) DC resistance (Ohms) : 32
- g) No LOAD RESPONSE RATE (PPS) : 653      PPS : Pulsos por segundos.
- h) No LOAD S L E W RATE (PPS) : 960
- i) HOLDING TORQUE (OZ-IN, one phase) : 3,00      OZ : onzas
- j) DETENT TORQUE (OZ-IN zero input) : 0,35      IN : pulgadas
- k) MAX. WORKING TORQUE (OZ-IN) : 1,8
- l) ROTOR MOMENT OF INERTIA (gm. -  $\text{cm}^2$ ) : 0,54
- m) Weight (OZ. MAX.) : 2,2
- n) MECHANICAL SIZE : 1,067 IN. DIA : 1,215 IN. "L" MAX.
- o) SCHEMATIC FIGURE : figura N<sup>o</sup> 11      DIA : diámetro  
L : longitud

Parte de las especificaciones se comprenden sin necesidad de mayores comentarios; sobre otras se entregan algunos antecedentes.

EXPLICACION DE ALGUNAS ESPECIFICACIONES IMPORTANTES DE LOS  
STEPPER

Especificación i) HOLDING TORQUE :

Se trata del torque ejercido sobre el roto, estando éste en alguna posición estacionaria. Se especifica en OZ-IN (onzas por pulgadas) aportada por una fase de estator por lo que tener dos fases activas, el HOLDING TORQUE (en este caso) se duplica. Un intento de traducción de este torque, sería TORQUE DE MANTENIMIENTO.

Notar que 1 onza (avoirdupois) es igual a 28,349 gramos.

1 IN (pulgada) es igual a 2,54 cm.

Por lo tanto 1 onza-pulg. = 72 grs.cm. = 1 OZ-IN

Especificación j) DETENT TORQUE :

Es el torque que existe en el eje del motor bajo condiciones de señales de entrada nulas (HOLDING TORQUE es nulo). Se trata del torque de "Detención" determinado fundamentalmente por la fricción y la inercia del motor.

En otras palabras, sacar al rotor de una determinada posición bajo condiciones de estatores energizados, implica una aplicación de torque de a lo menos 6,00 OZ-IN (en este caso).

En cambio sacar al rotor de una determinada posición bajo condiciones de total carencia de alimentación en las bobinas de estator, significará la aplicación de un torque de a lo menos 0,36 OZ-IN, (en este caso).

Especificación g) y h) NO LOAD RESPONSE RATE - NO LOAD SLEW RATE

Sobre estas especificaciones, es preciso clarificar dos regímenes de trabajo (hipotéticos) a que se somete a la máquina (figura N° 18).

Característica PULL - IN

Se trata de la característica de arranque del motor (Startt). En esta característica es posible conocer el torque de fricción (carga) - aplicado al eje del motor - que permitirá al motor arrancar desde el reposo y alcanzar la velocidad impuesta por la frecuencia de los pulsos. Si la carga es nula en el eje del motor, se define "NO LOAD RESPONSE RATE". Siendo el motor cargado, la frecuencia máxima de estímulo (o stepping rate) debe ser menor, para no establecer una discrepancia entre la posición angular y la cantidad de pulsos recibidos por la máquina.

Característica "PULL - OUT"

La curva correspondiente a esta característica representa el torque de carga en el eje del motor, cuando la velocidad ("stepping rate") se modifica en forma gradual (follow). En esta característica, el motor no puede ser acelerado ni desacelerado en forma brusca sin riesgo de discrepancia entre el número de pulsos suministrados y la cantidad de pasos que se mueve el eje del motor. En estas condiciones, si la carga es nula, se define la velocidad máxima que puede alcanzar el rotor, estimulado en frecuencia en forma gradual y sin discrepancia en

tre la posición angular y los pulsos de alimentación (Slew-Rate).

Estas especificaciones de "NO LOAD RESPONSE RATE" y "NO LOAD SLEW RATE", suelen conocerse también como "MAXIMUM PULL-IN RATE" y "MAXIMUM PULL-OUT RATE", respectivamente,

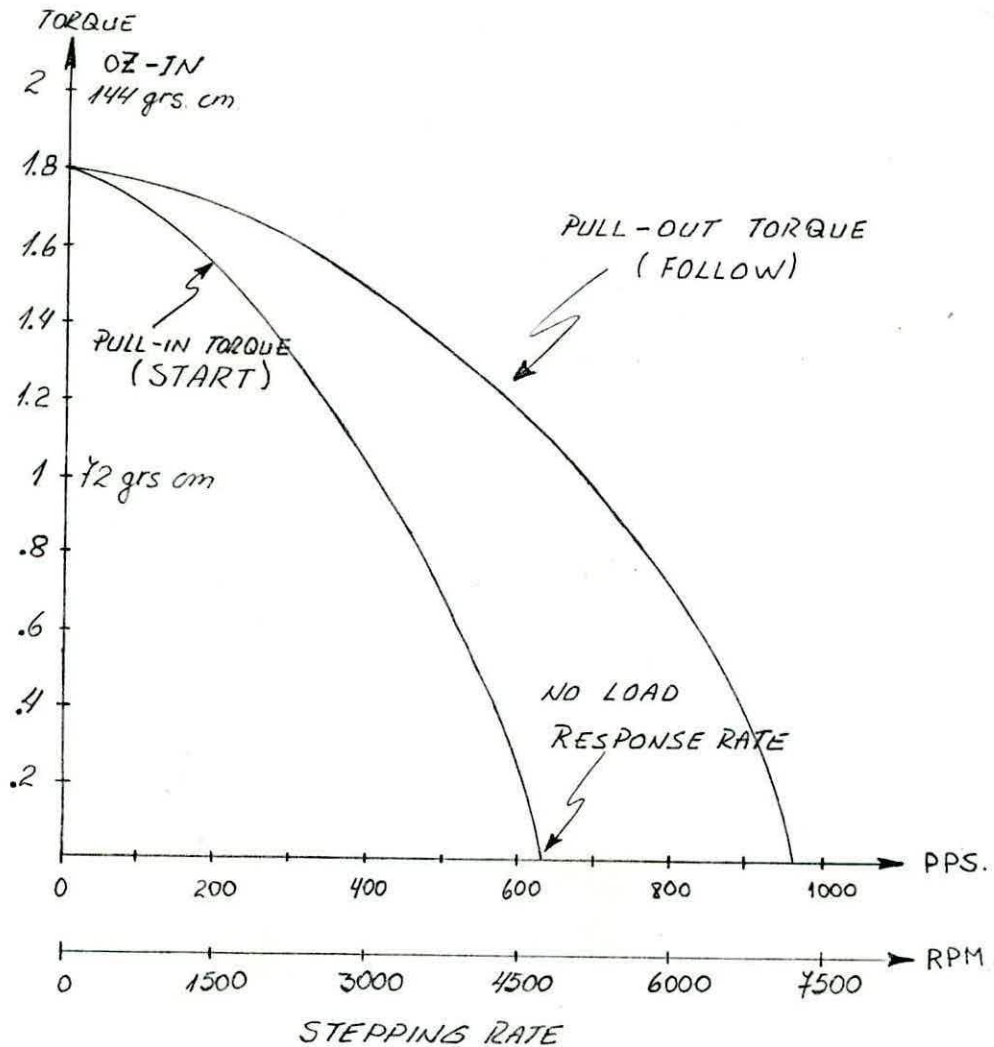


Fig. N° 18

2) EL STEPPER MOTOR PD-16 (PHILIPS)

Habiendo conocido las características generales de los Stepper Motor, procederemos a presentar un motor particular con el cual se trabajará. Se trata del motor PD-16 PHILIPS que tiene cuatro estatores y un rotor de imanes permanentes.

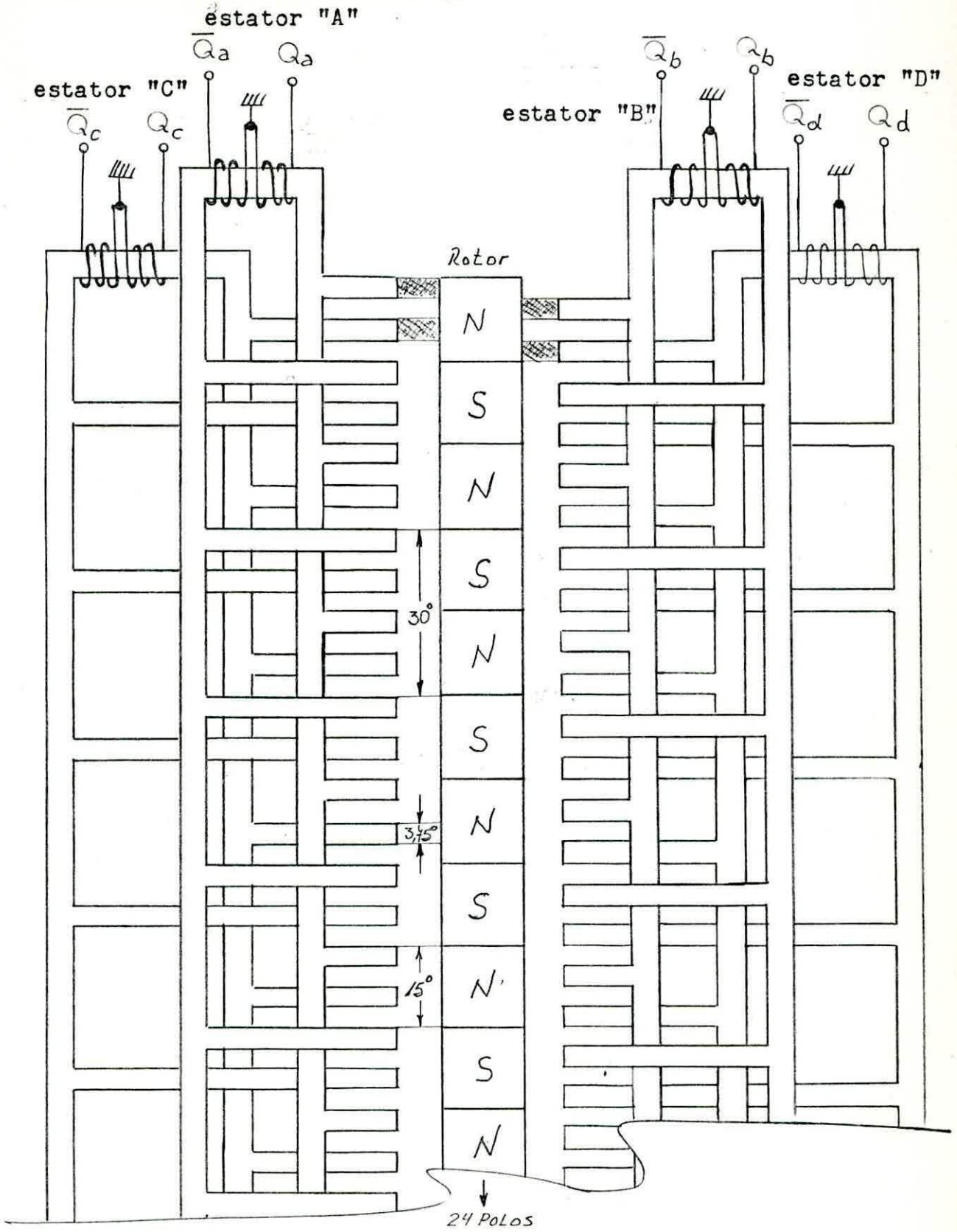


Fig. N° 19

IDENTIFICACIONES DE LOS TERMINALES DEL STEPPERMOTOR PD-16

ESTATOR 1	gris con blanco	+ gris	$\bar{Q}_a$
	violeta con blanco	+ violeta	$\bar{Q}_a$
ESTATOR 2	azul con blanco	+ azul	$\bar{Q}_b$
	verde con blanco	+ verde	$Q_b$
ESTATOR 3	naranja con blanco	+ naranja	$\bar{Q}_c$
	amarillo con blanco	+ amarillo	$Q_c$
ESTATOR 4	miel con blanco	miel	$\bar{Q}_d$
	rojo con blanco	rojo	$Q_d$

Todas las bobinas que tienen sus terminales rayados con blanco, se conectan al terminal positivo y son común para todas las bobinas (en la tabla está indicada con el signo +).

Las salidas directas y las de complementos se conectan a los colectores de los transistores de potencia correspondientes.

El estator A está constructivamente desplazado en  $3,75^\circ$  con respecto al estator B y éste con el estator G y a su vez éste con el estator D.

En la figura N° 20 se alcanza a apreciar 3/4 partes de uno de los cuatro estatores y el rotor del Stepper Motor PD-16 Philips.

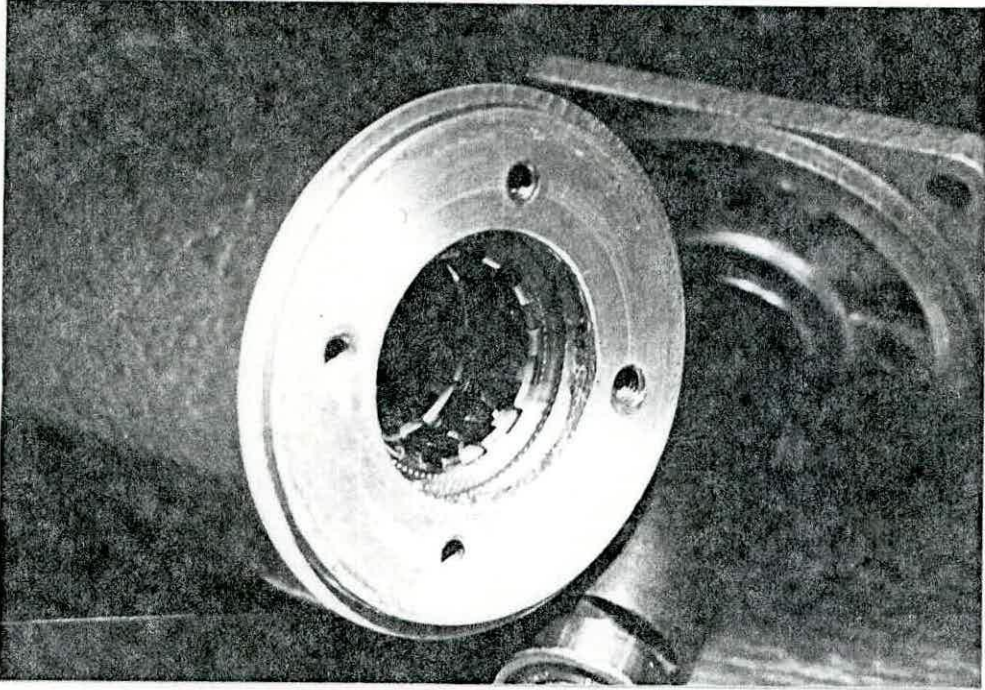


Fig. N° 20

2-2) ESPECIFICACIONES DEL STEPPER MOTOR PD-16

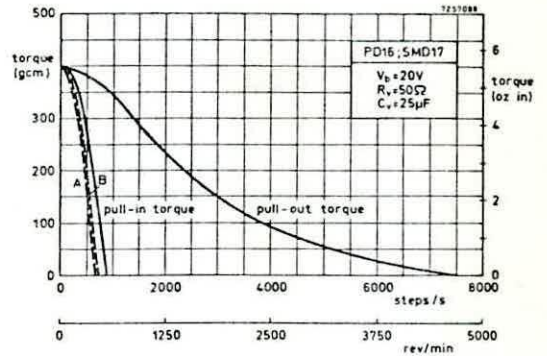
PD16 (cat. no. 9904 112 1600 I)  
 SMD17 (cat. no. 9904 112 1700 I)

**Quick Reference Data:**

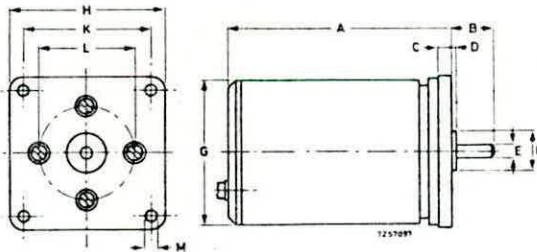
- Maximum working torque: 400 gcm
- Holding torque: 500 gcm
- Maximum pull-in rate: 900 steps/s  
 speed: 560 rev/min
- Maximum pull-out rate: 7500 steps/s  
 speed: 4700 rev/min
- Number steps per revolution: 96 steps
- Step angle: 3°45'

**General Data:**

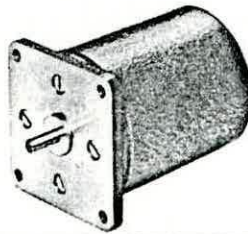
- Number of phases: 8
- Step angle tolerance: 10'
- Power consumption (not inclusive electronics): 6.5 W
- Permissible ambient temperature range: -54 °C to +85 °C
- Permissible storage temperature range: -62 °C to +110 °C
- Permissible motor temperature: 125 °C
- Bearings: Ball
- Weight: 600 g
- Maximum axial play of shaft: 0.07 mm
- Maximum radial force on shaft: 1500 g
- Maximum axial force on shaft: 750 g



PD16/SMD17 torque-rate characteristics (see note, p. 12)



PD16



**DIMENSIONES**

PD-16 ( mm )

A	79
B	15
C	5
D	2
E	5
F	15
G	57
H	58
K	47
L	36
M	4.5

DATOS DE PLACA DEL STEPPER MOTOR PD-16

Code N° : 9904 112 16001  
Step angle :  $3^{\circ} 45'$  ( $3,75^{\circ}$  ángulo de paso)  
Current/coil : 330 mA (corriente por bobina)  
Torque : 400 gr.cm.

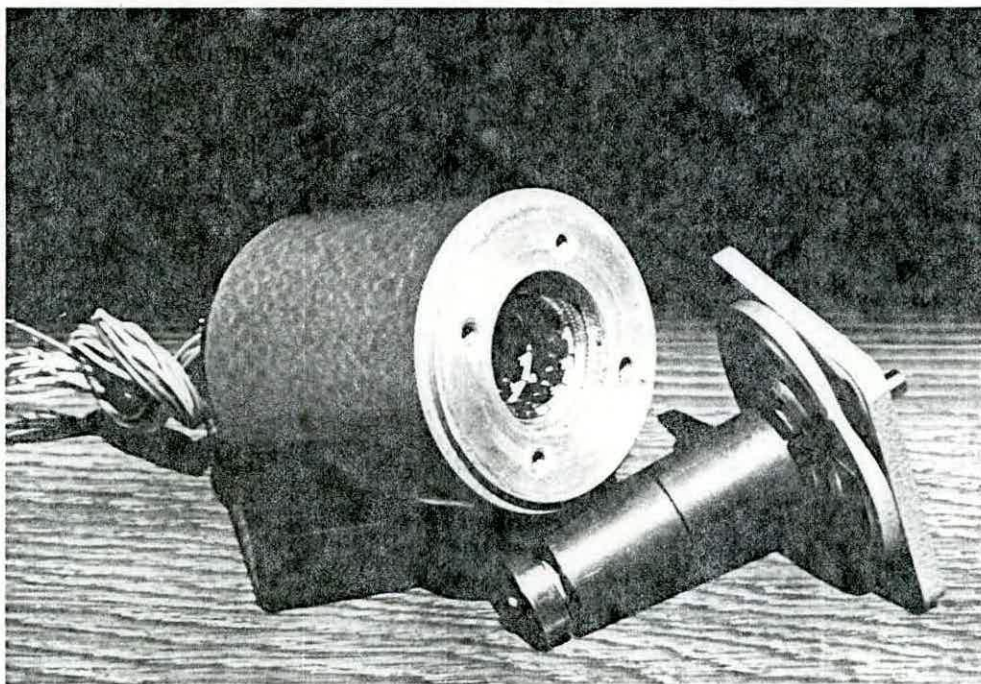
ASPECTO FISICO DEL STEPPER MOTOR PD-16

Fig. N° 21 Se aprecian los terminales, el rotor, los rodamientos, una de las tapas y la mitad de uno de los cuatro estatores de PD-16 Philips.

OBSERVACIONES A LA ESTRUCTURA DEL STEPPER MOTOR PD-16

En el esquema que muestra la estructura del Stepper PD-16 se observa y concluye que:

- a) El espacio geométrico que ocupa un polo del rotor, es de  $15^{\circ}$ ; por lo tanto, para cubrir  $360^{\circ}$  (dar una vuelta), son necesarios 24 polos o sea, 12 pares de polos.
- b) El circuito magnético de un polo del rotor, está cerrado a través de cuatro polos aportados por los estatores (cada estator aporta con un polo por cada polo del rotor), ésto implica que para avanzar el espacio geométrico de  $15^{\circ}$  del rotor, tendrán que producirse cuatro cambios de polaridad en los estatores; por lo tanto, si se necesitan cuatro pulsos en  $15^{\circ}$ , para que el rotor de una vuelta se necesitarán 96 pulsos.
- c) Cada estator aporta con 24 polos, ésto implica que los cuatro estatores aportan con 96 polos; pareciera ser que el número de polos que aporta estator es igual al número de pulsos por revolución, parámetro que es característico de esta máquina.
- d) Cada estator produce sus 24 polos con uno de sus enrollados y para conmutarlos se debe energizar un segundo enrollado y desenergizar el anterior. El proceso de conmutación de la polaridad se realiza (en nuestro caso), mediante la inversión de uno de los dos enrollados de dicho estator, ya que el circuito actuador no nos permite la inversión de

la polaridad, que es la otra posibilidad.

- e) De lo anterior se desprende que si se usa las salidas de un Flip-Flop para alimentar las bobinas de un estator, se cumplirá la función lógica de conmutación de las polaridades de los 12 pares de polos correspondientes al estator en cuestión. Por lo tanto para efecto de deducir la secuencia lógica, se considerará sólo la salida directa asignada a cada estator, entendiendo que la salida complemento realiza el cambio de polaridad cuando la salida directa del Flip-Flop en cuestión va a cero lógico.
- f) Las funciones lógicas se deberán realizar con Flip-Flop 7473, los cuales al ser comandados por un circuito secuencial, forman implícitamente un contador de módulo 16, por lo que se deberá deducir cuales serán las secuencias deseadas y las que no corresponden al funcionamiento del Stepper Motor PD-16.
- g) Podemos ir asignando a los estatores un 1 lóg., para producir un polo Sur frente a un polo Norte del rotor (ver figura N° 19), e ir produciendo las condiciones para que los cuatro estatores vayan arrastrando el polo Norte del rotor. Comprobaremos que se produce una secuencia lógica que se repite cada 8 pulsos con un giro del rotor de 30°. Ver tabla N° 8).

- h) Un ciclo lógico implica  $30^\circ$ , por lo tanto 12 ciclos lógicos serán iguales a  $360^\circ = 1$  vuelta.
- i) Un cero lógico asignado a  $Q_a$  implica un 1 lóg. en  $\bar{Q}_a$  lo cual producirá el cambio de polaridad de 12 pares de polos de un estator.

TABLA DE LA SECUENCIA LOGICA DEDUCIDA DEL ESQUEMA EN QUE SE MUESTRA LA ESTRUCTURA DEL PD 16

$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$
1	1	1	1
0	1	1	1
0	0	1	1
0	0	0	1
0	0	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	1	1
0	1	1	1
0	0	1	1

Un ciclo lógico =  $30^\circ$  de desplazamiento del rotor.

ETC.

Tabla N° 8

TABLA DE LA SECUENCIA LOGICA NO DESEADA PRODUCIDA POR EL CONTADOR DE MODULO 16

$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	1

Tabla N° 9

j) Esta secuencia es eliminada por la compuerta N° 22 que pone a cero salidas directas de los Flip-Flop, obligándolos a tomar la secuencia siguiente deseada. (ver tabla N° 13).

### 3. UNIDAD ELECTRONICA DE COMANDO PARA EL PD-16

Por lo general los fabricantes de estos motores ofrecen las unidades electrónicas adecuadas para su control. Se trata de circuitos secuenciales diseñado en particular para cumplir los requerimientos de un motor en especial.

Es objetivo de este trabajo ensayar el circuito propuesto por la PHILIPS para el STEPPER MOTOR PD-16. En dicho ensayo no se realizarán medidas de torque, ya que no se cuenta con instrumental adecuado.

3.1. CIRCUITO PROPUESTO POR LA PHILIPS

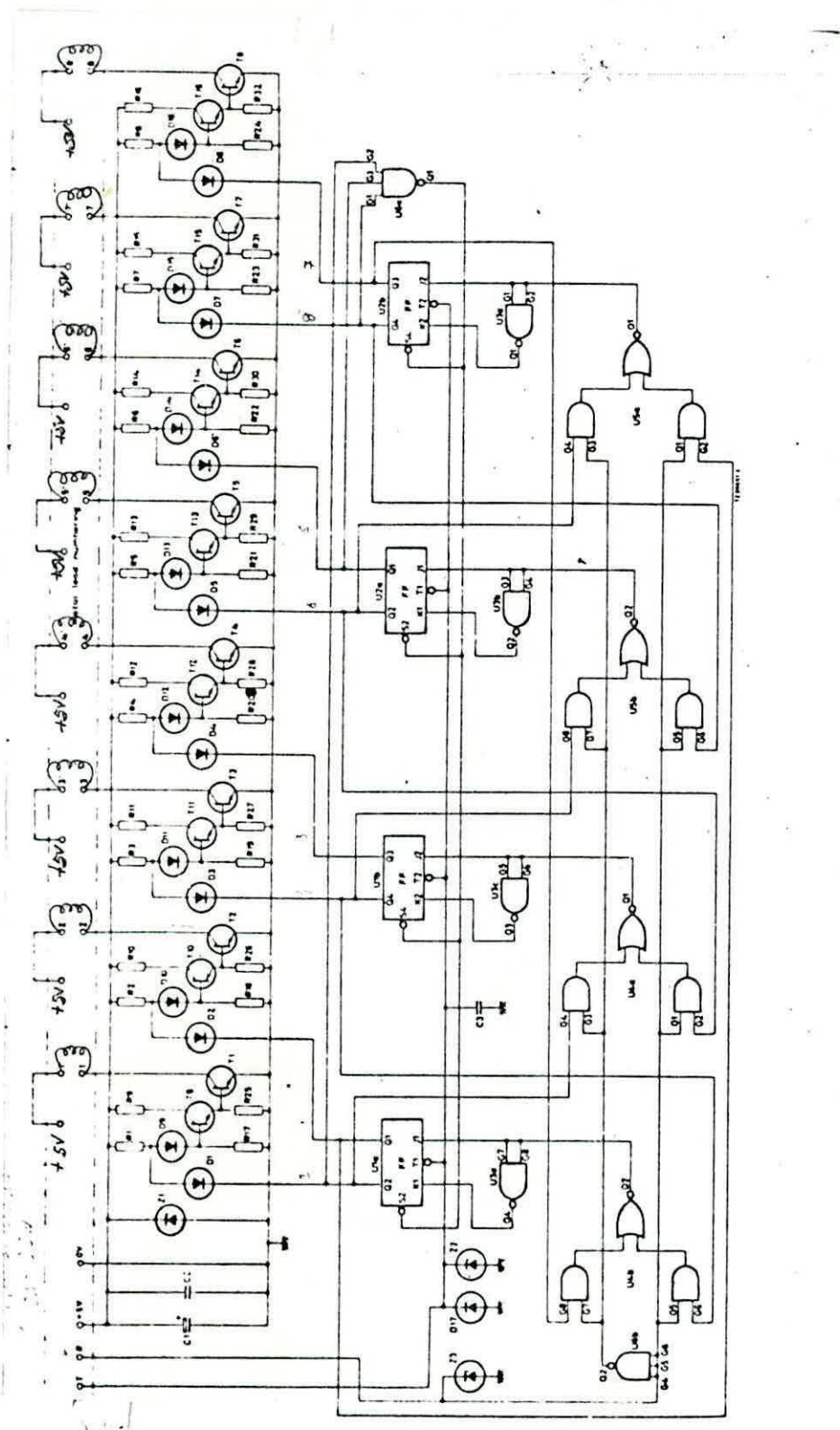


Fig. N° 22

ELEMENTOS PROPUESTOS POR LA PHILIPS

ES 800

ELECTRONIC SWITCH  
8-phase unipolar stepper motors

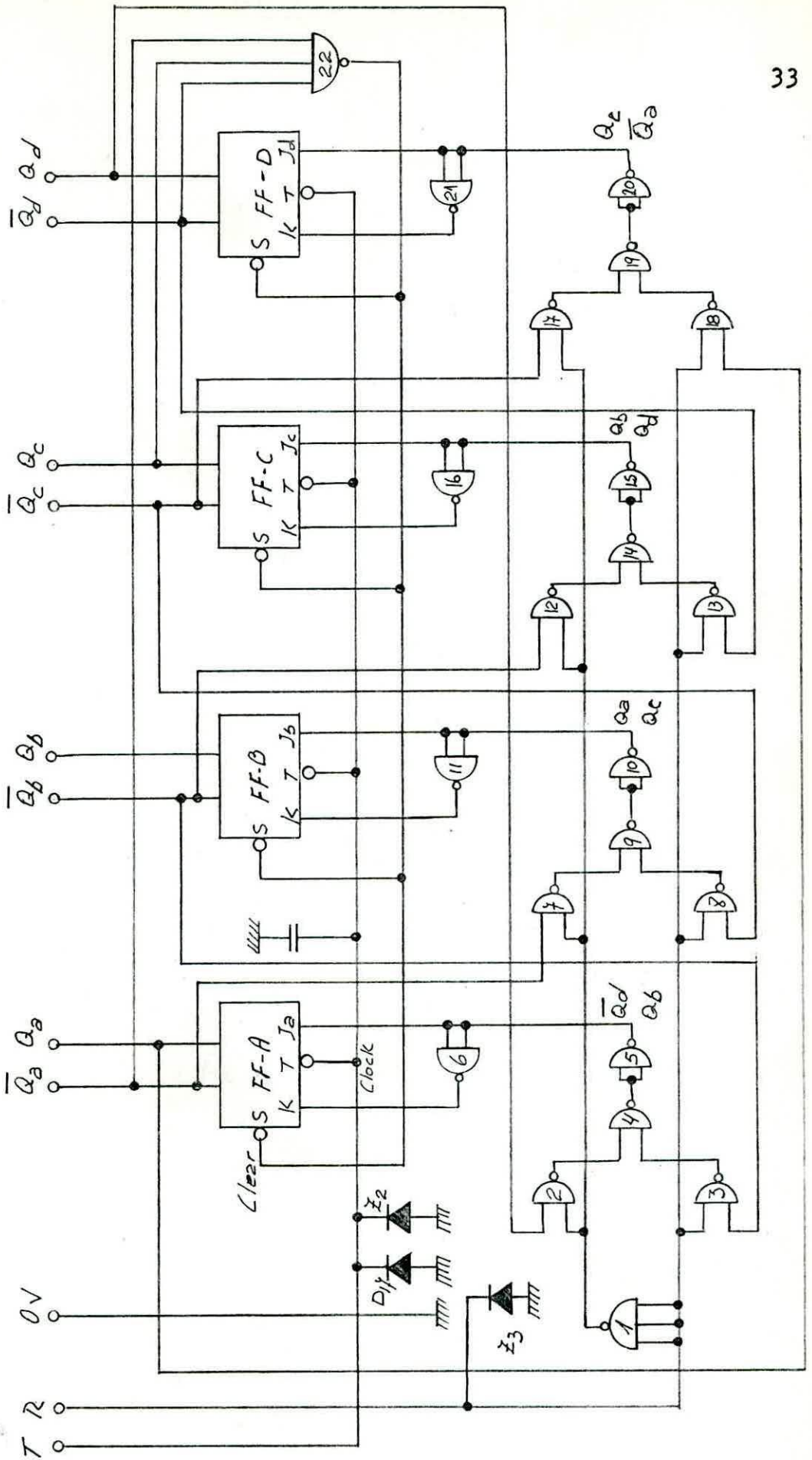
9904 131 03004

## Parts list

component	description	value	tolerance
C1	capacitor	125 $\mu$ F, 10 V	-10/+50%
C2	capacitor	0,1 $\mu$ F	10%
C3	capacitor	1 nF	10%
D1 -D16	diode	BAX13	
D17	diode	AAZ18	
U1	integrated circuit	GFB7473D	
U2	integrated circuit	GFB7473D	
U3	integrated circuit	GFB7400D	
U4	integrated circuit	GFB7451D	
U5	integrated circuit	GFB7451D	
U6	integrated circuit	GFB7410D	
R1 -R8	carbon resistor	390 $\Omega$ , 0,2 W	5%
R9 -R16	carbon resistor	51 $\Omega$ , 0,7 W	5%
R17-R24	carbon resistor	6,8 k $\Omega$ , 0,2 W	5%
R25-R32	carbon resistor	180 $\Omega$ , 0,2 W	5%
T1 -T8	transistor	BSW66	
T9 -T16	transistor	BC107	
Z1	voltage regulator diode	BZY88-C5V6	
Z2 -Z3	voltage regulator diode	BZY88-C5V1	

- . Integrado 5473 es Flip Flop doble con Clear y Clock.
- . Integrado 7400 son cuadro compuertas NAND de dos entradas.
- . Integrado 7410 son tres compuertas NAND de tres entradas.
- . Integrado 7451 son dos compuertas AND de dos entradas, más una compuerta NOR de dos entradas dobles ( no se utilizaron )

CIRCUITO LOGICO REAL ENSAYADO



COMPONENTES USADOS EN EL CIRCUITO LOGICO

- Los Flip-Flop A, B, C, D; Realizados con integrados 5473
- Las compuertas NAND N<sup>o</sup>s. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21; Realizados con integrados 7400N.
- Las compuertas 1 y 22; Realizadas con integrados 7410.

ACOTACIONES AL CIRCUITO LOGICO

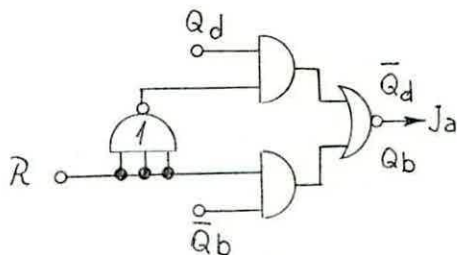
- Las compuertas 2, 3, 4, 5 ; Realizadas con un integrado 7400N.
- Las compuertas 7, 8, 9, 10; Realizadas con un integrado 7400N.
- Las compuertas 12, 13, 14, 15; Realizadas con un integrado 7400N.
- Las compuertas 17, 18, 19, 20; Realizadas con un integrado 7400N.
- Las compuertas 6, 11, 16, 21; Realizadas con un integrado 7400N.
- Las compuertas 1 y 22 ; Realizadas con un integrado 7410.
- Los Flip-Flop A y B ; Realizados con un integrado 5473.
- Los Flip-Flop C y D ; Realizados con un integrado 5473.
- Terminal "T" equivale a la señal de Reloj (clock).
- Terminal "R" realiza la función de determinar el sentido de giro.

MODIFICACION AL CIRCUITO LOGICO

Modificación del circuito propuesto por el fabricante que va mostrando a cada Flip-Flop el estado que debe tomar su salida por cada flanco de bajada de la señal de reloj, según el sentido de giro que se determine.

Analizaremos sólo el FlipFlop A.

Circuito original del fabricante (integrado 7451 D)

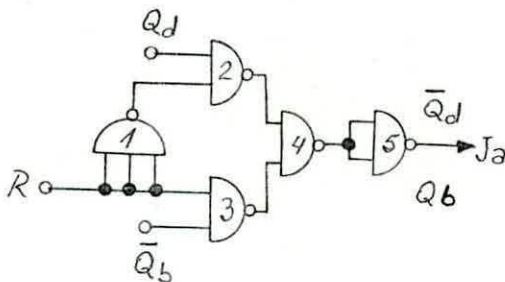


$R = 0$  lóg. implica  $J_a = \bar{Q}_d$

$R = 1$  lóg. implica  $J_a = Q_b$

Fig. N° 24

Circuito utilizado (integrado 7400 N)



$R = 0$  lóg. implica  $J_a = \bar{Q}_d$

$R = 1$  lóg. implica  $J_a = Q_b$

Fig. N° 25

No se utilizó el circuito propuesto por el fabricante, por la no disponibilidad del integrado 7451 D.

FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO LOGICO DEL STEPPER

MOTOR PD-16

- COMPUERTA N° 1.- Compuerta NAND de tres entradas funcionando como inversor y cumple la función de determinar el sentido de giro del rotor del Stepper. Con un cero lógico se autoriza el paso de información de las compuertas N°s. 2, 7, 12, 17 y se bloquea el paso de las compuertas N°s. 3, 8, 13, 18. En estas condiciones el rotor girará en sentido horario (CW).

Con un 1 lóg. se bloquea el paso de información de las compuertas N°s. 2, 7, 12, 17 y se deja el paso de información de las compuertas N°s. 3, 8, 13, 18. En estas condiciones el rotor girará en sentido antihorario (CCW).

- COMPUERTA N° 22.- Es una compuerta NAND de tres entradas y cumple la función de llevar a cero los 4 flip-flop cuando su salida va a cero lóg. esto ocurre cuando  $Q_a = 0$  lóg. ,  $Q_c = 1$  lóg. ,  $Q_d = 0$  lóg.
- LAS COMPUERTAS N°s. 6, 11, 16, 21.- Son compuertas NAND de dos entradas utilizadas como inversor, para hacer que los flip-flop funcionen como flip-flop tipo T.
- FLIP-FLOP 5473.- De la línea militar utilizados como flip-flop tipo T con Clear y señal de reloj (clock).
- Terminal T.Clock, por cada flanco de bajada de la señal de reloj, la información de la entrada J, pasa a la salida directa Q con su respectivo complemento  $\bar{Q}$ .

- Terminal S.- Clear, cuando está en 1 lóg. respeta el funcionamiento del Flip-Flop y cuando su estado va al nivel bajo (0 lóg.) lleva todas las salidas directas de los Flip-Flop a cero lóg. con su respectivo complemento (en 1 lóg.) independiente de lo que suceda con el resto de las funciones.
- D 17.- Diodo de Germanio AAZ18. Protege a los flip-flop de señales inversas en los pulsos de reloj.
- Z2.- Diodo ZENER de 5,1 V. Tiene por función proteger a los flip-flop de sobre tensiones de la señal de reloj.
- C3.- Capacitor de 1nF, que tiene la función de minimizar el ruido eléctrico producido por los flancos de subida y bajada de la señal de reloj.
- Z3.- ZENER de 5,1 V. y protege a las compuertas N<sup>o</sup>s. 1, 3, 8, 13, 18 de las sobre tensiones de la señal R, que determina el sentido de giro.

#### FUNCIONAMIENTO E IMPORTANCIA DE LA ACCION DE CLEAR

Se sabe que ningún integrado es idéntico a otro de su misma familia cuando se les somete a un trabajo paralelo; por lo tanto, ésto hace que en el momento de energizar el circuito de comando lógico, los flip-flop tomen un estado al azar, (ya que todos los flip-flop reciben la misma señal de reloj) y que tal vez no corresponda a una de las ocho combinaciones correctas. Las posibilidades de que ésto ocurra, es del 50%.

Posibilidades de combinación

Dirección de rotación	$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$	Dirección de rotación
sentido CCW (anti-horario)	(1) 0	0	0	0	(1)
	(2) 0	0	0	1	(8)
	0	0	1	0	(7)
	(3) 0	0	1	1	
	0	1	0	0	(6)
	0	1	0	1	
	0	1	1	0	(2)
	(4) 0	1	1	1	
(8) 1	0	0	0	(2)	
sentido CW (horario)	1	0	0	1	(3)
	1	0	1	0	
	1	0	1	1	(4)
	(7) 1	1	0	0	
	1	1	0	1	(5)
	(6) 1	1	1	0	
	(5) 1	1	1	1	(5)

Tabla N° 10.

PRESENTACION DE ESTADOS

$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$	$\bar{Q}_d$	$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$
$J_a$	$J_b$	$J_c$	$J_d$				
0	0	0	0	→	1	0	0
1	0	0	0	↘	1	1	0
1	1	0	0	↘	1	1	0
1	1	1	0	↘	1	1	1
1	1	1	1	↘	0	1	1
0	1	1	1	↘	0	0	1
0	0	1	1	↘	0	0	1
0	0	0	1	↘	0	0	0

Tabla N° 11.

Sentido de rotación CW que lo dá el nivel del terminal R.

Con  $R = 0$  lóg.

$\bar{R} = 1$  lóg.

entonces el muestreo de estados a los flip-flop dependerá de:

$$J_a = \bar{Q}_d ; J_b = Q_a ; J_c = Q_b ; J_d = Q_c$$

Las funciones anteriores las realizan las compuertas N°s. 1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 19, 20.

Nota:  $J_a ; J_b ; J_c ; J_d$  , son entradas a los Flip-Flop A, B, C y D.

$Q_a ; Q_b ; Q_c ; Q_d$  , son las salidas directas de los Flip-

Flop A, B, C y D, que comandan a los Estatores A, B, C, y D.

				$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$	$\bar{Q}_a$					
$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$	$J_a$	$J_b$	$J_c$	$J_d$					
0	0	0	0	→	0	0	0	1				
0	0	0	1	↘	0	0	1	1				
0	0	1	1	↘	0	1	1	1				
0	1	1	1	↘	1	1	1	1				
1	1	1	1	↘	1	1	1	0				
1	1	1	0	↘	1	1	0	0				
1	1	0	0	↘	1	0	0	0				
1	0	0	0	↘	0	0	0	0				

Tabla N° 12.

Sentido de rotación anti-horario (CCW) dado por el nivel del terminal R.

$R = 1$  lóg.

$\bar{R} = 0$  lóg.

Entonces el muestreo de estados a los Flip-Flop dependerá de:

$$J_a = Q_b; J_b = Q_c; J_c = Q_d; J_d = \bar{Q}_a$$

Las funciones anteriores las realizan las compuertas N°s. 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 18, 19, 20.

Las flechas hacia la derecha, implica el cambio de estado a que se someten las entradas de los Flip-Flop por efecto de los estados de las salidas de los mismos.

Las flechas hacia la izquierda implica el cambio de estado a que se someten las salidas de los Flip-Flop por efecto de los estados de las entradas de los mismos. Todos estos cambios de estados ocurren con los flancos de bajada de la señal de reloj.

Ahora bien, supondremos que en el momento de energizar el circuito, los flip-flop tomaran los estados indeseados que muestran la siguiente tabla, con un sentido de giro CW. Tendremos en cuenta que la acción de Clear se produce cuando  $Q_a = 0$  lóg. ;  $\bar{Q}_c = 1$  lóg. ;  $Q_d = 0$  lóg. Esta acción la realiza la compuerta N° 22 del circuito lógico.

Condición de Clear	$Q_a$	$\bar{Q}_c$	$Q_d$	$\bar{Q}_d$	$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	Condición del sentido de giro horario (CW)
<u>Nº de pulsos</u>	<u><math>Q_a</math></u>	<u><math>Q_b</math></u>	<u><math>Q_c</math></u>	<u><math>Q_d</math></u>	<u><math>J_a</math></u>	<u><math>J_b</math></u>	<u><math>J_c</math></u>	<u><math>J_d</math></u>
	1	0	0	1	0	1	0	0
1)	0	1	0	0	1	0	1	0
2)	1	0	1	0	1	1	0	1
3)	1	1	0	1	0	1	1	0
4) ¡Clear !	0	1	1	0				
4')	0	0	0	0	1	0	0	0
5)	1	0	0	0	1	1	0	0
6)	1	1	0	0	1	1	1	0

Tabla N° 13.

De lo anterior se concluye que no se producen más de cuatro pulsos sin que se produzca la condición de Clear.

### CIRCUITO DE COMANDO DE POTENCIA

El presente circuito es un amplificador de corriente y se repite ocho veces ya que son ocho las bobinas a energizar con dichas fuentes de corriente. En el circuito propuesto por el fabricante, se observa que éste, amplifica en corriente todas las salidas de los flip-flop. Estas fuentes actúan sobre cada bobina con una corriente de 330 mA. funcionando en corte y saturación.

CIRCUITO PROPUESTO POR LA PHILIPS

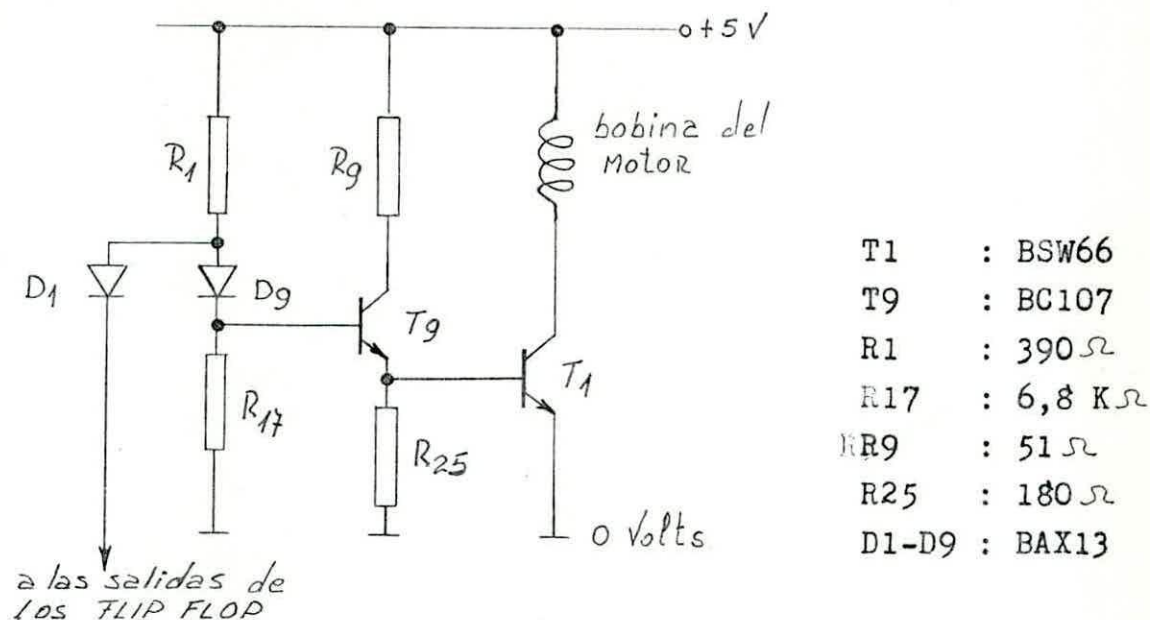


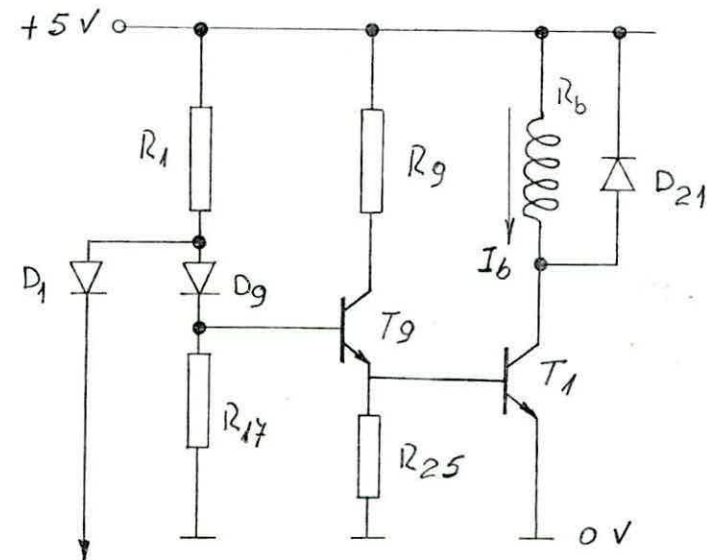
Fig. N° 26.

FUNCIONAMIENTO DE LA CONFIGURACION DE POTENCIA

- a) Cuando la salida del flip-flop en cuestión va al nivel alto, (1 lóg.) el diodo D1 queda polarizado en forma inversa y hay circulación de corriente a través de R1, D9, R17, hay corriente en la base de T9, éste se satura, hay corriente de emisor, se produce la caída de tensión en R25 que hace saturarse a T1, hay corriente de colector en T1 que circula a través de la bobina. (La tensión de saturación es de 0,3 a 0,4 V.)
- b) Cuando en la salida del flip-flop en cuestión va al nivel bajo (0 lóg.), el D1 queda polarizado en forma directa y la caída de tensión en D1 es repartida entre D19 y R17, en es-

tas condiciones la tensión en la base de T9 no alcanza la tensión de umbral de T9; por lo tanto T9 va al corte, ésto implica que no hay corriente de emisor a través de R25; ésto implica que T1 está en corte y Vce de T1 tiende a  $V_{cc} = +5 \text{ V}$ .

### 3.2) MODIFICACION AL CIRCUITO CONTROL DE POTENCIA PROPUESTO POR LA PHILIPS



a las salidas de los FLIP FLOP.

T1	: BD139
T9	: BC107
R1	: $390 \Omega$
R17	: $5,6 \text{ K}\Omega$
R9	: $56 \Omega$
R25	: $180 \Omega$
D1, D9	: BAX13
R <sub>b</sub>	: $13 \Omega$
I <sub>b</sub>	: 300 mA
D21	: 1N4007

Fig. N° 27.

Nota: R<sub>b</sub> es la resistencia de la bobina del Stepper Motor PD16 que es idéntica en las ocho fases.

I<sub>b</sub>, corriente obtenida por este circuito (Fig. 27) en cada bobina, en ausencia de señal de reloj.

### 3.3) ENSAYO DEL STEPPER MOTOR PD-16 (circuito propuesto por la PHILIPS)

- Frecuencia de trabajo estable : 500 Hz.
- Corriente por bobina : 295 mA (rotor fijo, ausencia de pulsos).
- Forma de onda entre masa y el colector del transistor de potencia.

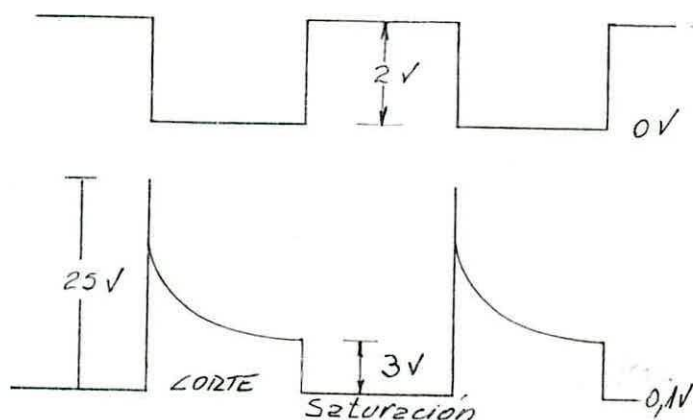


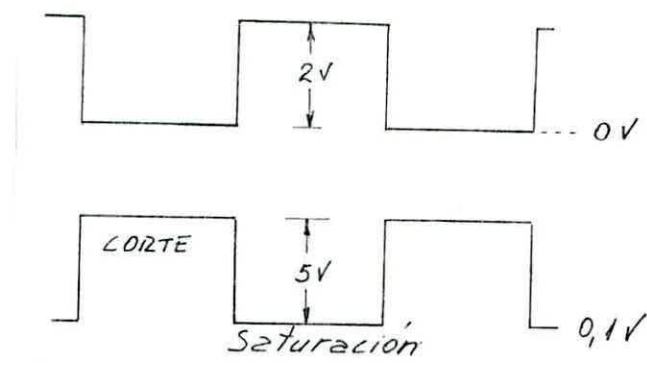
Fig. N° 28.

en la salida de los flip-flop, que es la misma señal que se aplica a las etapas de Potencias.

en los colectores de los transistores de potencia, sin diodo es paralelo con la bobina.

- Al aumentar la frecuencia de los pulsos de entradas a 657 Hz. se produce una oscilación que comienza a incrementarse hasta que el rotor del motor se posiciona en cualquier ángulo.

FORMA DE ONDA CON LA MODIFICACION AL CIRCUITO DE CONTROL DE POTENCIA



En la salida de los flip-flop.

En los colectores de los transistores de potencia, con diodo en paralelo con la bobina.

Fig. N° 29.

- Frecuencia de trabajo estable : 390 Hz.
- Para la comprobación de las tablas N°s. 11, 12 y 13, se conectaron un Led (vía una resistencia de 300 Ohms.) por cada salida directa y por cada entrada de los flip-flop; asignando un 1 lóg. al LED encendido y un 0 lóg. al LED apagado.
- Para la comprobación del Clear, se provocaron condiciones no deseadas (ver tabla N° 13) comprobándose el correcto funcionamiento, utilizando diodos LED, en la misma forma que el punto anterior.
- Para comprobación pulso a pulso, fue necesario utilizar una memoria básica NAND, para evitar el rebote de contactos (efecto de Bounce) al llevarlo a los distintos niveles de tensión en forma manual.

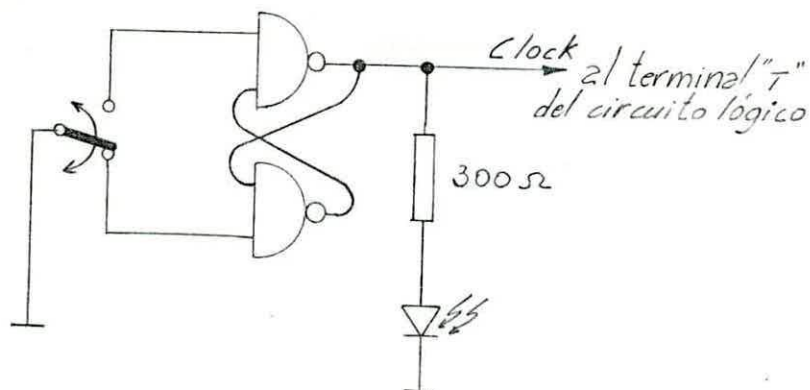


Fig. N° 30.

Se comprobó que cada vez que el LED se apaga, los estados en la entrada de todos los Flip-Flop, pasan a las salidas directas de los mismos.

#### 4. CONCLUSIONES

- Cuando el transistor de potencia va al corte, se produce un peak de 25 V. por efecto de auto-inducción de la bobina. El nivel estacionario de 3 V. es producido por la inducción del rotor en movimiento. Al conectar un diodo en paralelo con la bobina, estos efectos son prácticamente eliminados.
- La frecuencia normal de trabajo del PD-16 es de 900 Hz., sin embargo las frecuencias de trabajo obtenidas están por debajo de este valor, esto se justifica probablemente considerando que el número de líneas de fuerza de los imanes permanentes disminuyen cuando éstos envejecen.
- Para hacer el circuito más confiable en el momento del encendido, habría que diseñar un circuito de clear para las

ocho posibilidades no deseadas.

- Se excitó el circuito lógico con un generador conectado al terminal "T" (Clock); comprobándose que al variar la frecuencia (en onda cuadrada), varía la velocidad de giro del Stepper Motor PD-16. También se excitó el circuito en una frecuencia de 96 Hz, comprobándose que el Stepper gira una vuelta por segundo, lo que implica una velocidad de giro de 60 RPM.
  
- Se construyó una circunferencia que fue montada en la tapa adosada al eje del Motor; se colocó una aguja indicadora en el eje del Stepper Motor PD-16, se graduó la circunferencia de 15 en 15 grados; comprobándose que por cada cuatro pulsos de la señal de reloj, el eje del Stepper Motor, gira  $15^{\circ}$ , lo que implica que cada 96 pulsos, el eje da una vuelta. Dicha prueba se realizó en ambos sentidos de giro.

4.1. CIRCUITO PROPUESTO PARA LA ACCION DE CLEAR

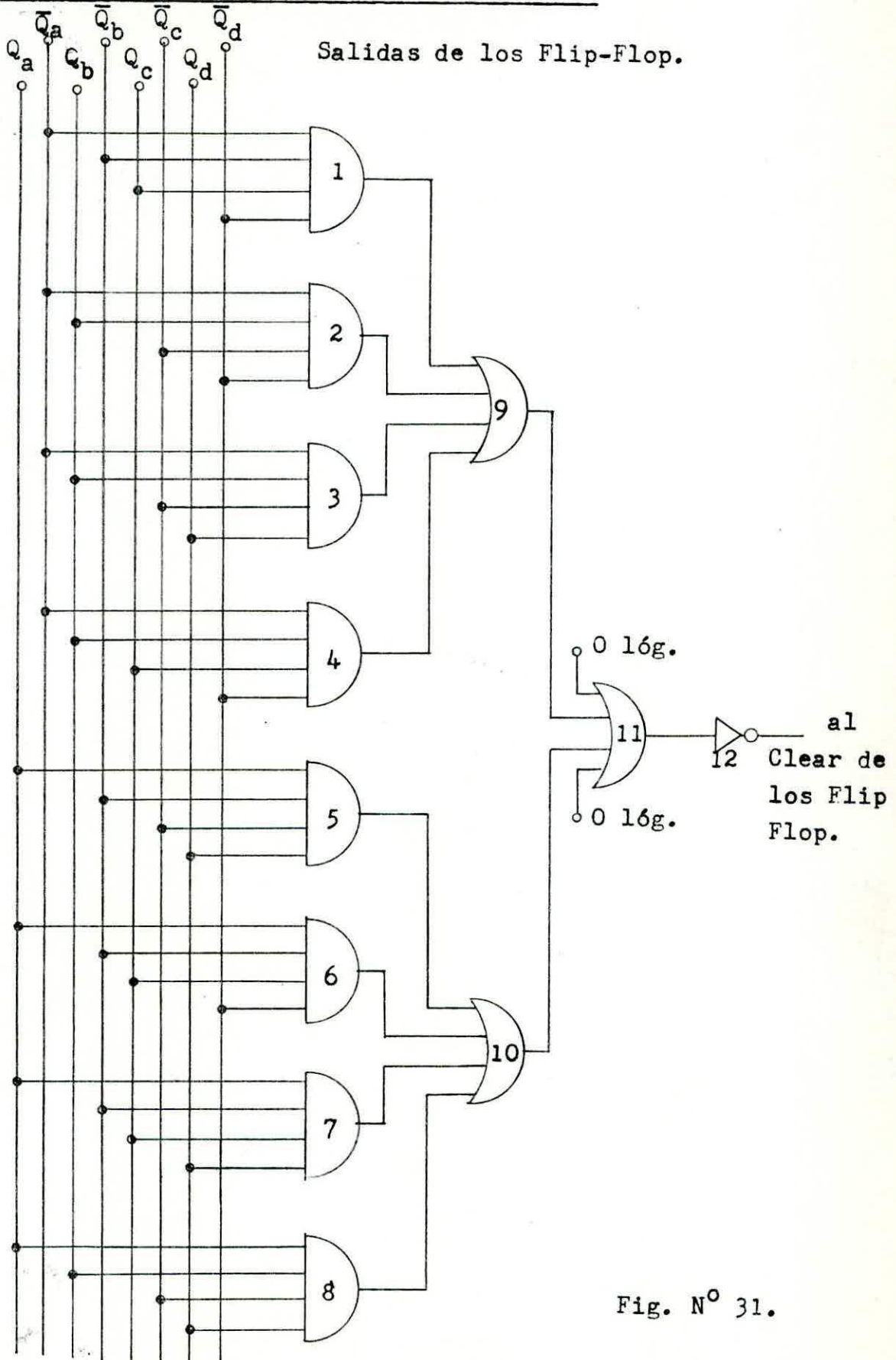


Fig. N° 31.

Con el circuito propuesto (fig. N° 31) para la acción de Clear, no se pierde ningún paso y hace a la máquina, más precisa y confiable.

COMPUERTAS	CONEXIONES				COMBINACIONES NO DESEADAS			
	$\bar{Q}_a$	$\bar{Q}_b$	$Q_c$	$\bar{Q}_d$	$Q_a$	$Q_b$	$Q_c$	$Q_d$
1	$\bar{Q}_a$	$\bar{Q}_b$	$Q_c$	$\bar{Q}_d$	0	0	1	0
2	$\bar{Q}_a$	$Q_b$	$\bar{Q}_c$	$\bar{Q}_d$	0	1	0	0
3	$\bar{Q}_a$	$Q_b$	$\bar{Q}_c$	$Q_d$	0	1	0	1
4	$\bar{Q}_a$	$Q_b$	$Q_c$	$\bar{Q}_d$	0	1	1	0
5	$Q_a$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_c$	$Q_d$	1	0	0	1
6	$Q_a$	$\bar{Q}_b$	$Q_c$	$\bar{Q}_d$	1	0	1	0
7	$Q_a$	$\bar{Q}_b$	$Q_c$	$Q_d$	1	0	1	1
8	$Q_a$	$Q_b$	$\bar{Q}_c$	$Q_d$	1	1	0	1

Tabla N° 14.

Para cualesquiera de las ocho combinaciones no deseadas, se produce la acción de Clear con un pulso que va al nivel bajo, llevando todas las salidas directas de los flip-flop a 0 lóg.; después el resto del circuito lógico se encarga de ir mostrando las secuencias correctas según el sentido de giro. (ver tabla N° 13).

Nota: En la figura N° 31, las compuertas N° 1, 2, 3, 4, 5, 6,

7, 8, son compuertas AND de cuatro entradas. Las entradas 9, 10, 11 son compuertas OR de cuatro entradas.

En la compuerta N° 11, para que cumpla con el funcionamiento correcto, las dos entradas que no se utilizan, se conectan al nivel bajo de tensión.

La compuerta N° 12, realiza la función de negador, puede realizarse con una compuerta NAND o NOR.

B I B L I O G R A F I A

PHILIPS : DATA HANDBOOK ELECTRONIC COMPONENTS AND MATERIALS  
Capítulo : ELECTRONIC SWITCH for 8 - phase Unipolar  
Stepper Motor. (Junio de 1975, páginas  
desde 171 a la 175 inclusive).

PHILIPS : PRODUCT INFORMATION  
RANGE OF STEPPER MOTORS  
Date of realise: 17 April 1969

MBLE : PHILIPS DE BELGICA  
STEPPER MOTOR  
with 20 examples of application

