
LABORATORIO DE CONTROL

Práctica

***Control de Velocidad y Posición
(Introducción)***

CONTROL DE VELOCIDAD

(Introducción)

C O N T E N I D O

- I. Objetivos.
- II. Antecedentes.
- III. Material y equipo.
- IV. Descripción de los Módulos de Velocidad TY36A y Controlador G36A.
- V. Desarrollo de la Práctica:
 - Transductor tacogenerador de directa.
 - Transductor de posición.
- VI. Hoja de resultados.

I. Objetivos

Al concluir la práctica el alumno *conocerá* cada elemento de los módulos G36A y TY36A/EV y será capaz de alambirlo correctamente
Se *familiarizará* con el uso de los transductores de velocidad y sus características.

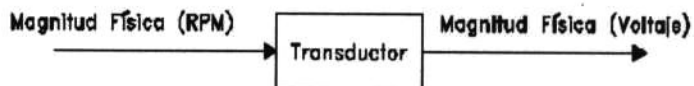
II. Antecedentes

Para una comprensión satisfactoria de esta práctica es necesario que el alumno conozca lo siguiente

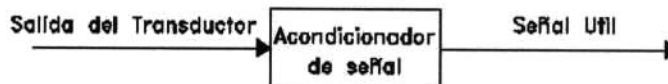
Equipo de laboratorio: Manejo del multímetro y del osciloscopio.

Semiconductores: Deberá conocer los conceptos básicos de la función y operación de diodos, transistores, mos-fets compuertas lógicas y amplificadores operacionales.

Transductor: Es un dispositivo que realiza la conversión de una magnitud física en otra.
Por ejemplo:



Acondicionador de señal: Durante la práctica se observará que, la señal de salida de un transductor es una señal que no se puede utilizar directamente por diversas causas que se explicarán posteriormente; por esta razón, a la salida de cada transductor siempre existe una etapa de acondicionamiento de la señal del transductor para su uso.



III. Material y equipo

- 1 Fuente PS1/EV.
- 1 Módulo de Velocidad TY36A y Controlador G36A.
- 1 Multímetro.
- 1 Juego de 25 cables para conexión.
- 2 Cables de alimentación.
- 1 Juego de puntas para multímetro.
- 1 Cable de conexión DIN 7.

IV. Descripción de la práctica

Para el desarrollo de la práctica se utilizará un sistema que consta de dos módulos, el módulo G36A y el módulo TY36A/EV, los cuales se describen en esta sección presentando una breve explicación de cada uno de ellos.

El módulo G36A, que lleva el nombre de Control de Velocidad y Posición con Transductores ("Speed & Position Control with Transducer"), es un sistema muy útil para estudiar el comportamiento teórico experimental de las técnicas básicas de control aplicadas a la regulación de la velocidad angular de un motor de corriente continua.

Como se observa en la figura 2, este módulo se compone a su vez de un conjunto de diez bloques, los cuales realizan cada uno una función específica. Además, muestra las conexiones que unen a los diferentes bloques, así como los puntos de medición.

En la parte superior derecha muestra los bornes de conexión con los diferentes voltajes de alimentación. A la derecha del módulo se encuentran dos bornes para la conexión al motor de corriente directa y una base de 8 polos para el conductor procedente del transductor ubicado en el módulo TY36A/EV.

- Set point

Este bloque, denominado "Set Point" o módulo de entrada de referencia tiene la finalidad de proporcionar la señal de entrada al circuito.

En el circuito mostrado, Z_1 y Z_2 son reguladores de tensión variable (junto con RV_1 y RV_2).

Con el potenciómetro P_1 se regula el valor de la tensión de salida de este circuito la cual servirá como señal de referencia del sistema de control.

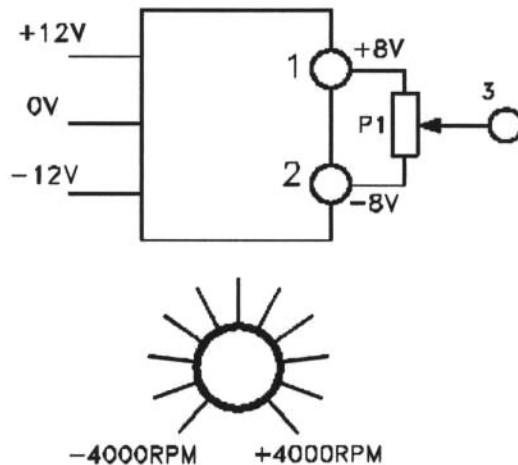


Fig.1 Diagrama del circuito de la entrada de referencia

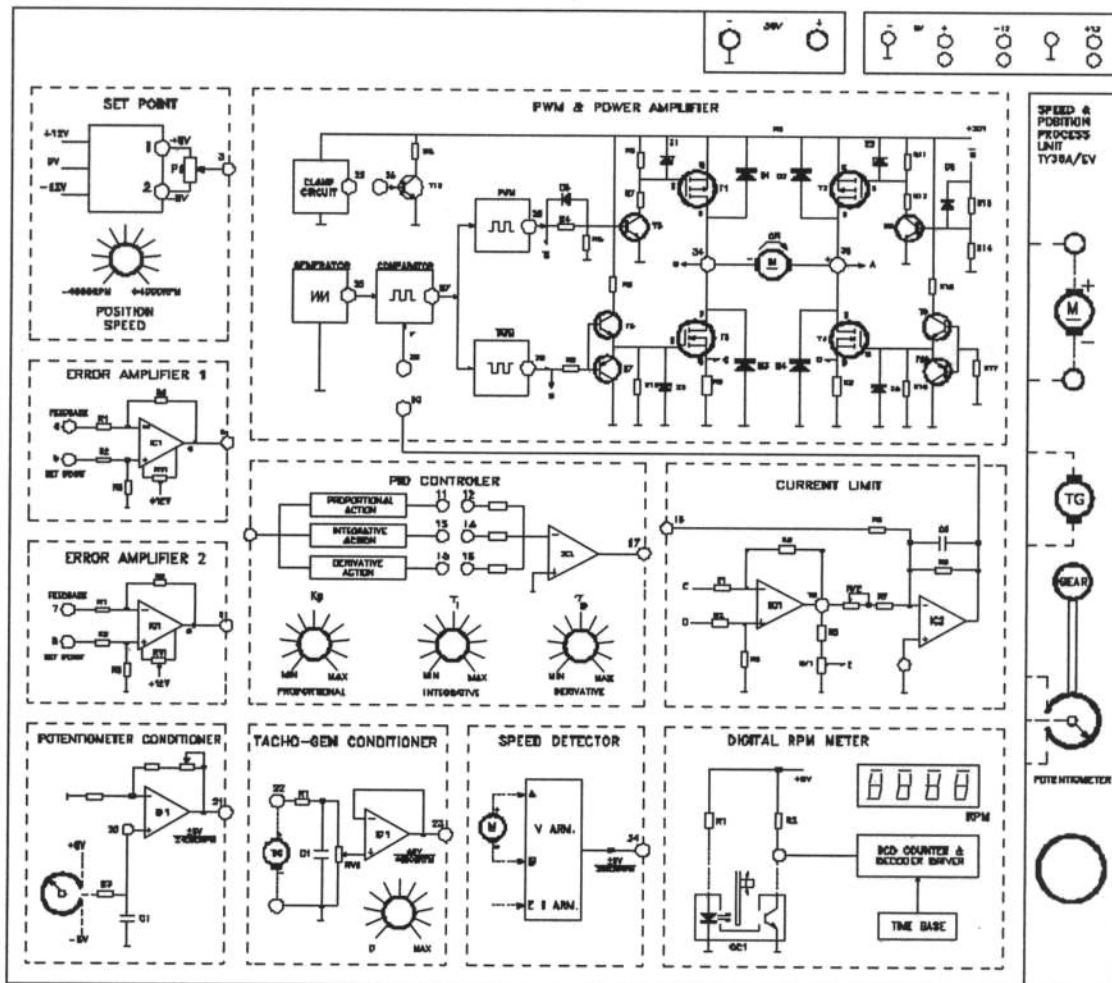


Fig.2 Módulo G36A

- Amplificador de error

Este bloque realiza la comparación entre el valor de entrada, proveniente del "Set Point" y el valor obtenido a la salida del sistema, con el objeto de generar la señal de error. (E). El módulo G36A cuenta con dos bloques de este tipo ("ERROR AMPLIFIER 1" y "ERROR AMPLIFIER 2"), cuyo diagrama se muestra en la figura 3. El circuito está constituido básicamente por un amplificador operacional en configuración diferencial, cuya salida es el resultado de la diferencia de las dos entradas presentes afectada por la razón R_4/R_1 . El potenciómetro RV_1 sirve para poner el *offset* del amplificador operacional en el nivel de cero.

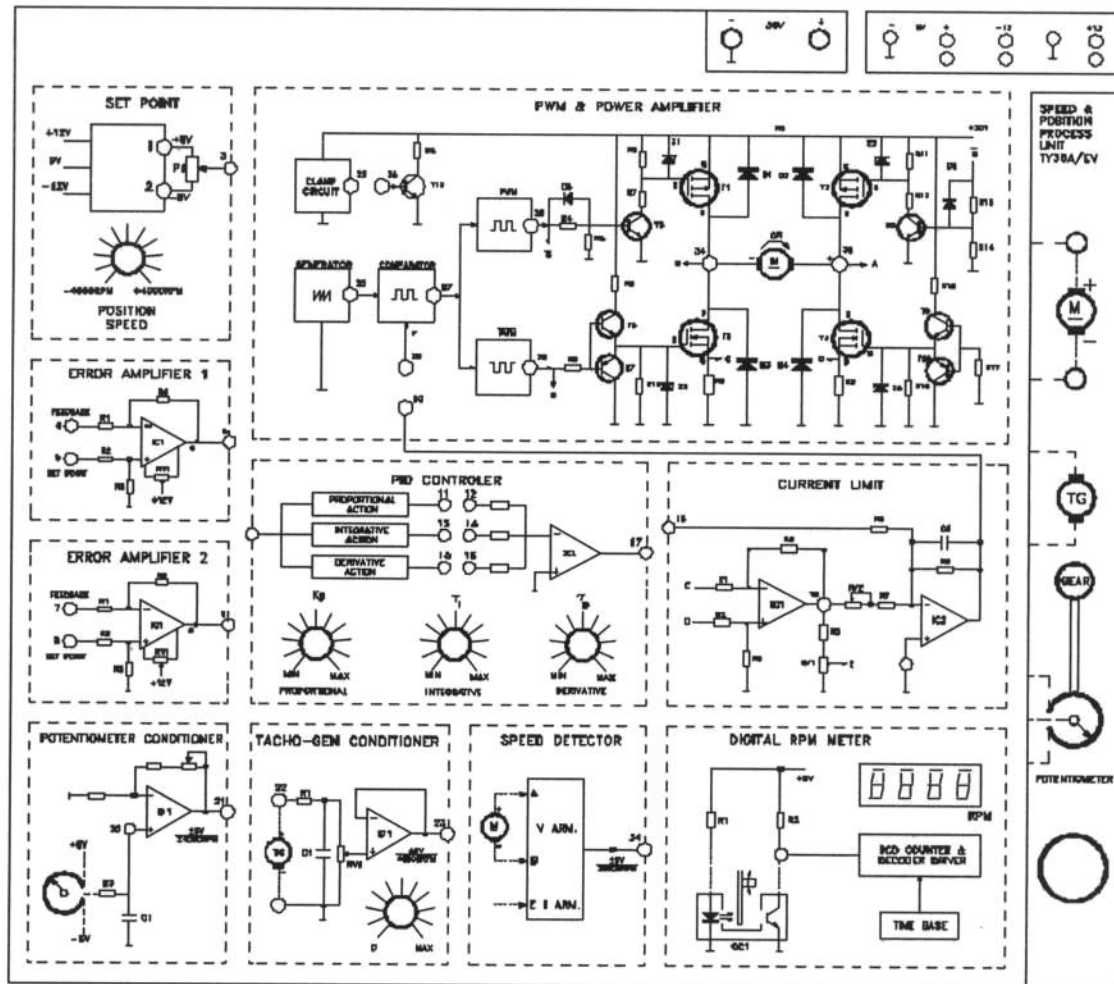


Fig.2 Módulo G36A

- Amplificador de error

Este bloque realiza la comparación entre el valor de entrada, proveniente del "Set Point" y el valor obtenido a la salida del sistema, con el objeto de generar la señal de error. (E). El módulo G36A cuenta con dos bloques de este tipo ("ERROR AMPLIFIER 1" y "ERROR AMPLIFIER 2"), cuyo diagrama se muestra en la figura 3. El circuito está constituido básicamente por un amplificador operacional en configuración diferencial, cuya salida es el resultado de la diferencia de las dos entradas presentes afectada por la razón R_4/R_1 . El potenciómetro RV_1 sirve para poner el *offset* del amplificador operacional en el nivel de cero.

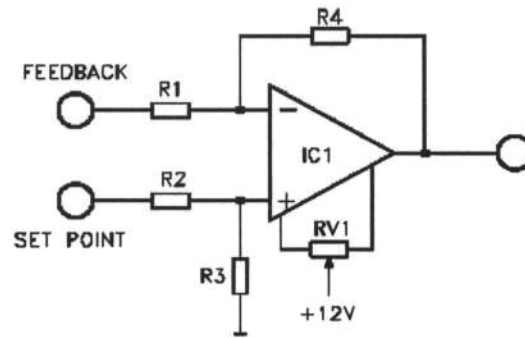


Fig.3 Diagrama del amplificador de error

- Controlador PID

Este bloque proporciona un controlador versátil que puede tomar las configuraciones P, I o D por separado, o bien un control combinado de ellos mediante el puenteo de algunos bornes específicos, ver la figura 4.

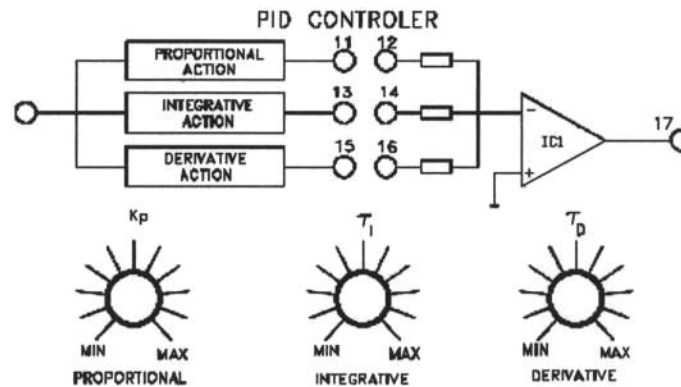


Fig.4 Diagrama a bloques del controlador PID

- Limitador de corriente

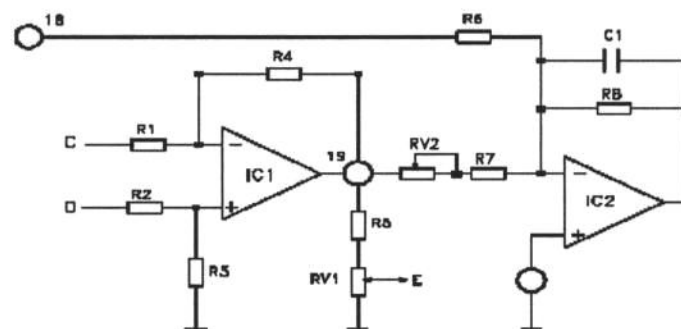


Fig.5 Limitador de corriente

La función de esta etapa es la de limitar la corriente del motor que se encuentra en el módulo TY36A/EV.

Opera de la siguiente manera: se envían las tensiones provenientes de los extremos de las resistencias R1 y R2 que representan la corriente que circula por ambas ramas del puente a la entrada del amplificador operacional (IC1) conectado en configuración diferencial. Por lo tanto, la tensión de salida de IC1 será proporcional a la corriente que circula por el motor y conjuntamente con la señal proveniente de la salida del controlador PID se envía a la entrada del segundo amplificador operacional (IC2), cuando la corriente supera el límite máximo fijado por RV2 la señal de corriente se hace igual a la proveniente del controlador PID y el motor se detiene ya que la diferencia es nula.

- Acondicionador del tacogenerador de directa

Para evitar que la constante del tacogenerador sufra variaciones al cargarse demasiado al tacogenerador, se utiliza un amplificador IC1 en configuración seguidor de tensión formando así un limitador que sirve para evitar este inconveniente. Mientras que el capacitor C1 funciona como filtro, cuya función es la de limitar la influencia de la ondulación residual. Este tipo de transductor proporciona una tensión de salida continua de valor proporcional a la velocidad angular, que se adapta mejor a los demás módulos, su esquema se muestra en la figura 6.

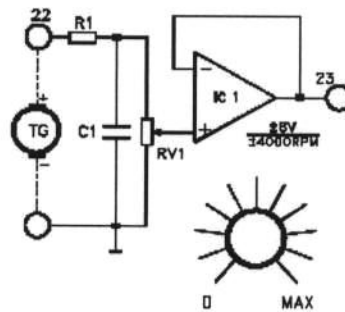


Fig.6 Diagrama del acondicionador de señal del tacogenerador de directa

- Detector de velocidad

Este transductor que se basa en la reacción de armadura del motor de corriente continua que se encuentra localizado en el módulo TY36A/EV. Como se observa en la figura 7, este bloque usa dos amplificadores operacionales IC1 e IC2.

IC1 se utilizó en configuración diferencial siendo su salida proporcional a la diferencia de los niveles A y B, el factor de proporcionalidad es R_9 / R_1 .

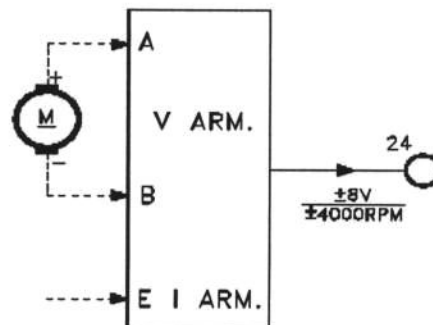


Fig.7 Diagrama del acondicionador de señal para el tacogenerador de alterna

IC2 esta conectado también en configuración diferencial. Con E como la entrada que procede del limitador de corriente y que representa el valor de la corriente del motor. A través de RV1 puede variarse la ganancia de IC2, de manera que a una cierta velocidad angular corresponda una tensión bien determinada, dada con la siguiente expresión

$$G = \frac{8}{4000} \left[\frac{\text{volts}}{\text{r.p.m.}} \right]$$

- Medidor digital de RPM's

La señal suministrada por los transductores fotoeléctricos de regulación necesita para poder ser visualizada en algún indicador (display), es necesario utilizar un convertidor de frecuencia a voltaje o sino utilizar un frecuencímetro digital o un contador. En este módulo se utiliza un contador digital porque tiene la ventaja de proporcionar una indicación muy precisa.

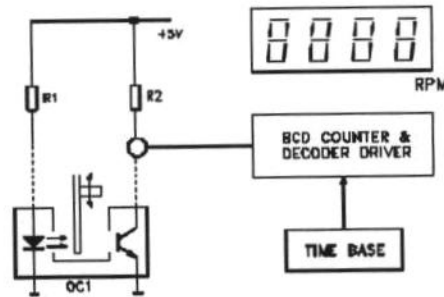


Fig.8 Diagrama del acondicionador de señal del transductor digital

De la figura anterior se observa que el componente denominado OC1 contiene un conjunto constituido por un fotodiodo y un fototransistor, que genera una señal de impulsos proporcional ala velocidad de rotación. De ahí la señal lleva a la entrada del contador (IC4 MM74C926) que consta de un contador de cuatro cifras decimales y de un registro en el que pueden almacenarse los contenidos del contador. Las salidas son capaces de controlar un display de siete segmentos. Además cuenta con un temporizador (IC2) que proporciona el intervalo de tiempo durante el cual se realiza el recuento de los impulsos, al final d este tiempo se generan dos señales, una que permite a los datos de las salidas del contador trasladarse al origen de salida , y otra que lleva a cero el contenido de los contadores.

- Acondicionador de señal del transductor de posición

Como en los transductores de velocidad el transductor de posición requiere también de una etapa para acondicionar la señal del transductor y que esta sea útil para poderse usar. Este circuito amplifica la señal del potenciómetro de tal manera que la tensión sea -8 V cuando el ángulo sea 0° y de +8 V cuando el ángulo sea 360°.

Como se observa en la figura 9, el cursor del potenciómetro llega a la entrada no inversora del amplificador operacional siendo esta una tensión proporcional a la posición. Los componentes R₃ y C₁ constituyen un filtro de paso bajas cuya función es la de eliminar eventuales disturbios debidos al movimiento del cursor. El amplificador esta en una configuración no inversora con ganancia igual a

$$G = 1 + (R_2 + RV_1) / R_1$$

regulando el trimer RV₁ se puede lograr una tensión de ± 8 V para un ángulo comprendido entre 0° y 360°.

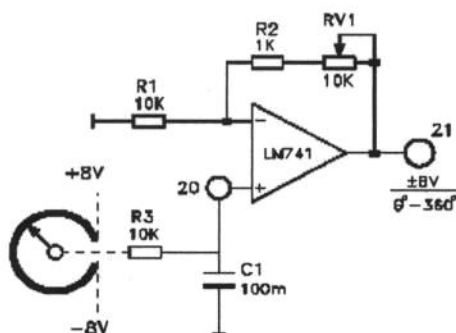


Fig.9 Acondicionador de señal del transductor de posición

- Amplificador de potencia "PWM & Power Amplifier"

El esquema del amplificador de potencia se muestra en la figura 10. Está constituido por un puente H realizado por 4 MOS-FET de potencia. La configuración del puente permite que el movimiento sea bidireccional. Los diodos D_1 a D_4 sirven para proteger a los MOS-FET en caso de que se apliquen tensiones peligrosas, cuando conmutan al estado "OFF" y bloquean la corriente que circula por el motor, por otra parte los diodos Zenner Z_1 a Z_4 hacen que las tensiones de alimentación de la compuerta no sobrepasen los límites máximos tolerables de los dispositivos utilizados. Los transistores T_5 a T_{10} se utilizan como excitadores de las entradas de los MOS-FET.

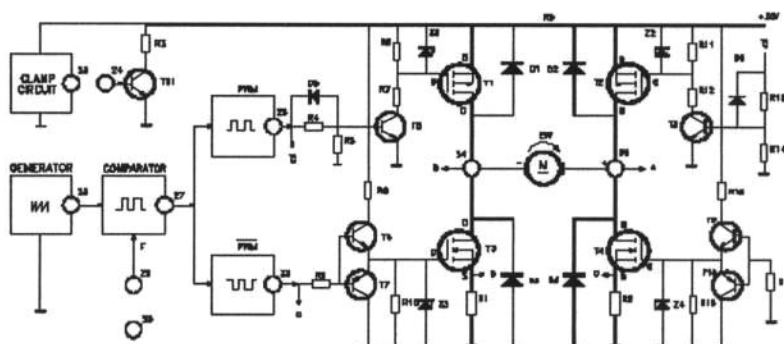


Fig.10 Diagrama del amplificador de potencia

La potencia aplicada al motor se regula con el dispositivo nombrado PWM, que a la salida genera una onda cuadrada cuyo ciclo de trabajo depende de la comparación entre una señal diente de sierra y una tensión variable según sea el valor de la salida. Observe que se genera también una señal \overline{PWM} con ciclo de servicio variable, así como la tensión complementaria \overline{PWM} , de este modo la potencia aplicada depende de la relación entre el tiempo en el que conduce una de las ramas y el tiempo en el que conduce la otra.. En el módulo se encuentra también un circuito fijador (CLAMP CIRCUIT), el cual tiene la función de proteger a la fuente de alimentación de los picos producidos por las conmutaciones de tensión en el motor, cuando este último funciona como generador haciendo que la energía almacenada se descargue en dicha fuente a través de los diodos. Para que este último circuito tome parte del proceso se tienen que unir los Bornes 26 y 27.

- Transductores de velocidad

- Introducción

Dentro de los transductores más utilizados para la velocidad angular se encuentran:

- El tacogenerador de directa
- El tacogenerador de alterna
- Los transductores digitales.

Como se mencionó en los antecedentes, normalmente no es posible manipular la magnitud de la señal eléctrica de salida de un transductor, ya sea porque el campo de medición no sea el deseado, la potencia de la señal proporcionada es demasiado baja, o bien porque no es compatible con la etapa a la que se pretende conectar, debido a esto al transductor se le debe acoplar un etapa de acondicionador de la señal. Cabe mencionar que la presencia del transductor constituye un elemento de perturbación disturbio en el proceso que se pretende analizar.

Como sus nombres lo indican la diferencia sustancial entre el tacogenerador de directa y el de alterna es que en el primero la forma de onda aplicada es directa y en el segundo alterna variando la amplitud en ambos casos en forma proporcional a la velocidad.

Los tacogeneradores de alterna no tienen colector de láminas y por ello requieren de un mantenimiento menor lo cual constituye una gran ventaja cuando se utilizan en la industria pero tiene el inconveniente que deben utilizar un conjunto rectificador nivelador de salida.

En cuanto a los tacogeneradores de directa a menudo se utiliza la reacción de armadura del motor de corriente continua ya que la fem desarrollada por este motor es directamente proporcional al número de revoluciones.

Por lo que respecta a los transductores digitales, actualmente se construyen de una manera sencilla y por lo tanto son económicos, pero suministran señales de salida de impulsos que no pueden utilizarse directamente en los sistemas de control analógico de malla cerrada, por esta razón se requiere conectarles una etapa de acondicionamiento de señal bastante complicada.

- Tacogenerador de directa

El esquema del principio del tacogenerador de directa se muestra en la siguiente figura

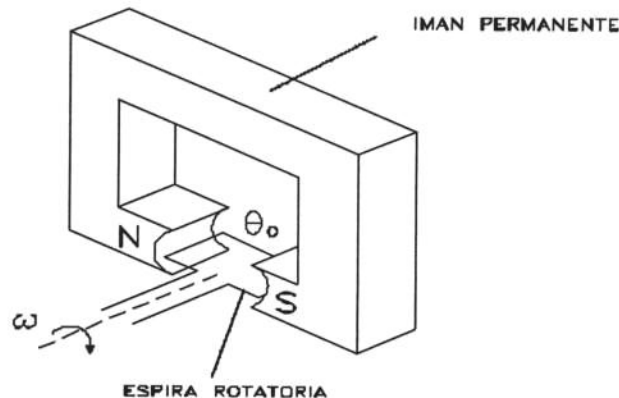


Fig.12 Tacogenerador de directa

El campo magnético se obtiene mediante un imán permanente con forma de U, cuyas caras polares se encuentran una enfrente de la otra, dicho imán conforma al estator y el rotor se encuentra constituido por N espiras separadas con un ángulo que es igual a $2\pi/N$.

Las N vueltas se rematan en un colector de láminas y las tensiones senoidales inducidas se extraen por medio de dos escobillas en un tiempo correspondiente a $2\pi/N\omega$. En la siguiente

figura se representan dos evoluciones de la tensión de salida al variar la velocidad angular, se observa que ya sea la amplitud o la ondulación ambas dependen de ω .

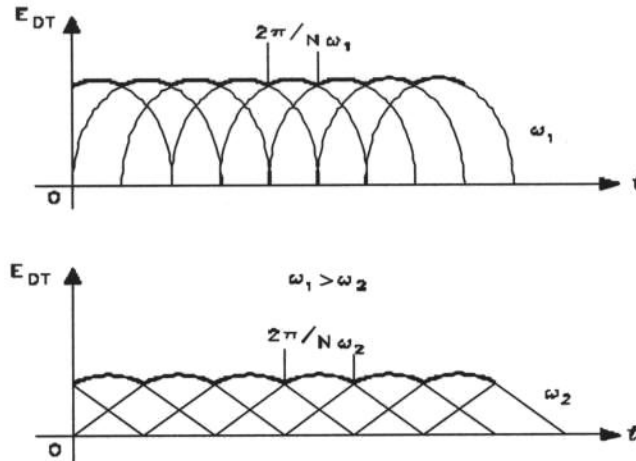


Fig.13

El parámetro fundamental que caracteriza un tacogenerador de directa es la *constante tacométrica* que es la relación entre la tensión de salida y la velocidad de rotación, esta se mide en volts/(rad \times s⁻¹) y se expresa como

$$K_T = \frac{E_{DT}}{\omega}$$

La precisión de este transductor será mayor cuanto menor sea la corriente que circule por el inducido.

Algunas de las características de la dinamo tacométrica usados en la Unidad Externa son:

número de polos:	2
constante tacométrica:	14.45 mV/r.p.m.
corriente máxima:	30 mA

El acondicionador de señales de este transductor se describe en el módulo G36A.

- Tacogenerador de alterna

Como se mencionó en la introducción a los transductores el tacogenerador de alterna se basa en la reacción de armadura del motor. Si usamos la fórmula

$$N = E / K_\phi = (V_a - R_a I_a) / K_\phi$$

Que proporcionan el número de espiras N de un motor de corriente continua en función de la tensión de armadura V_a , la corriente de armadura I_a , la resistencia de armadura R_a , la constante magnética K y la fuerza electromotriz E.

Si se mantiene el valor de K_ϕ constante (como ocurre en el caso de las aplicaciones inherentes a la regulación de la velocidad del motor de corriente continua en las que solo se interviene sobre la corriente de armadura I_a) es necesario determinar N, calcular el producto $R_a I_a$ en base al circuito y restarla de la tensión de armadura V_a , estas operaciones se realizan en el acondicionador de señales correspondiente a este transductor que se encuentra en el módulo G36A efectuando una realimentación de armadura.

- Transductor digital

Este transductor se usa en el desarrollo de la práctica únicamente para que el alumno observe en un display el número de revoluciones por minuto del motor.

El transductor proporciona una secuencia de pulsos con frecuencia variable en función de la velocidad angular de la flecha del motor. Estos impulsos son enviados a contadores, y si el cálculo se lleva a cabo en un tiempo apropiado el contador proporcionará directamente la velocidad en r. p. m.

Dentro de los transductores digitales de velocidad, los más recurrentemente utilizados son los de tipo fotoeléctrico, que son de disco perforado o de reflexión.

Debido a que cuando se tienen velocidades bajas es necesario un mayor número de perforaciones, en este módulo se emplea un disco al cual se le han marcado 30 zonas negras no transparentes.

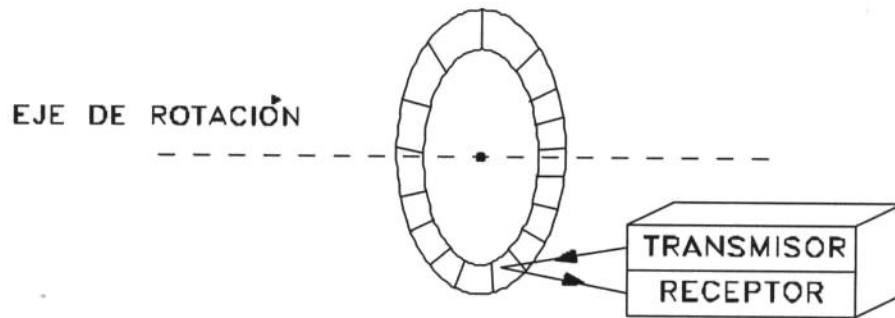


Fig.14 Transductor de velocidad

El tipo de transductor usado es un dispositivo diodo emisor-fototransistor (TIL 139) que utiliza luz infrarroja.

Como se observa en la figura 14, cada vez que el rayo de luz emitido por el transmisor encuentra a una superficie reflejante esta se envía al receptor.

- Transductor de posición

Los transductores de posición se utilizan para determinar la posición o el desplazamiento de un objeto con respecto a un punto de referencia. Debido a que los desplazamientos pueden ser lineales o angulares se han construido transductores para cada uno de estos tipos. El módulo G36A cuenta con un transductor de posición angular; este transductor es muy sencillo y también bastante preciso. Consta de un potenciómetro resistivo cuyo eje se conecta mecánicamente con el eje del motor, en los dos extremos de la resistencia que constituye la parte eléctrica del potenciómetro se aplican dos tensiones de referencia de ± 8 V. Al girar el eje del motor la posición del cursor cambia haciendo que varíe la tensión que se extrae del mismo, conociendo el valor de la tensión extraída será posible calcular la posición del cursor del potenciómetro y por lo tanto la del eje del motor.

V. Desarrollo de la práctica

- Transductor de velocidad (Tacogenerador de directa).
 - Conecte y encienda la fuente, ajustando al mínimo el valor de corriente, después realice un pequeño giro hasta que encienda el indicador "CV".
 - Ajuste las fuentes de alimentación a 30 volts de cd necesarios para el módulo, una vez que se tengan los voltajes correctos, APAGUE LA FUENTE.
 - Conecte los voltajes de polarización de la Fuente PS1/EV en los bornes correspondientes del Módulo G36A.
 - Construya el circuito de la figura 15.

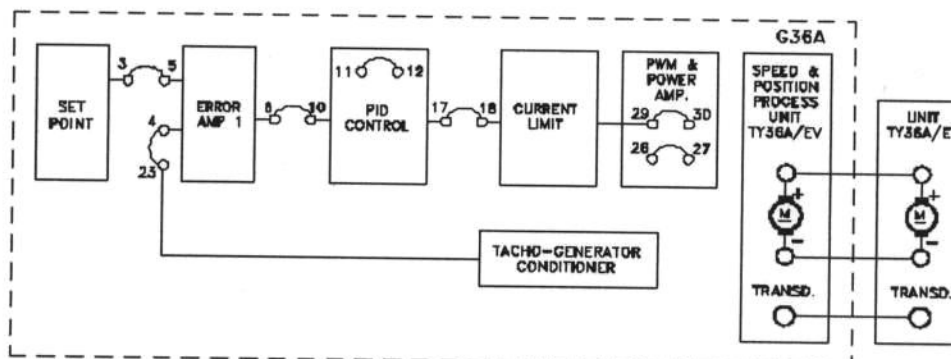


Fig.15

- En el bloque "PID CONTROLLER" gire la perilla "PROPORTIONAL" hasta el valor máximo.
- De ser necesario gire la perilla localizada en la unidad TY36A/EV para asegurar que el motor tiene una carga nula.
- Coloque un multímetro para que mida tensiones continuas entre el borne 3 y tierra.
- En el bloque "SET POINT" mueva la perilla correspondiente en la posición central.
- Encienda las fuentes de alimentación.
- En el bloque "SET POINT" gire la perilla correspondiente en sentido horario hasta leer un voltaje de 8V en el borne 3.
- Si en el display de la Fuente PS1/EV se observa que disminuye el voltaje de 30V, gire la perilla "CURRENT" hasta que el indicador de "CV" se encienda y se apague al mismo tiempo el de "CC".
- En el bloque "TACHO-GEN CONDITIONER" gire la perilla correspondiente hasta que el motor gire a una velocidad cercana a 4000 r.p.m. La velocidad a la que gira el motor se visualiza en el display del bloque "DIGITAL R.P.M. METER". Anote en la Tabla 1, el valor al que logró ajustar la velocidad del tacogenerador, teniendo una señal de referencia de 8V.
- Gire la perilla del bloque "SET POINT" en sentido antihorario, con el propósito de fijar el voltaje de la señal de referencia en los valores indicados en la Tabla 1 y registrar la velocidad a la que gira el motor en cada caso y para cada medición anote el valor del voltaje detectado en la salida del bloque "TACHO-GEN CONDITIONER" (borne 23).

Voltaje (Volts) entrada	Voltaje (Volts) salida	Velocidad (r.p.m.)
8		
7		
6		
5		
4		
3		
2		
1		
0		

Tabla 1

- Repetir los pasos anteriores programando valores de *set point* negativos (sentido de rotación opuesto).

Voltaje (Volts) entrada	Voltaje (Volts) salida	Velocidad (r.p.m.)
-8		
-7		
-6		
-5		
-4		
-3		
-2		
-1		
0		

Tabla 2

- Regrese la perilla del “SET POINT” para tener una velocidad angular de 0 r.p.m. Apague la fuente.

- Transductor de posición

Construya el circuito de la figura 16.

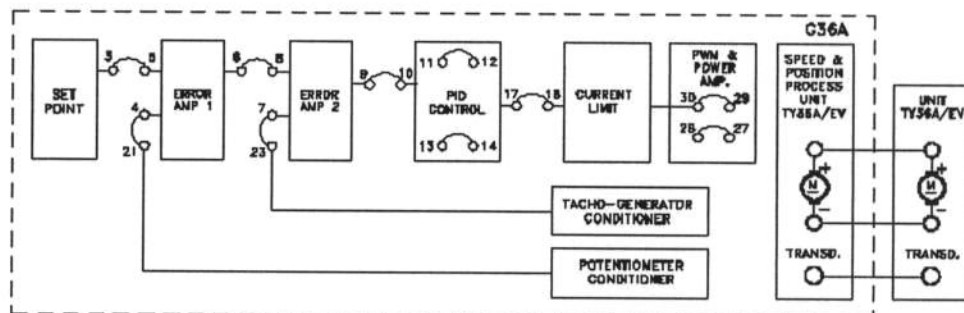


Fig.16

- En el bloque “PID CONTROLLER”, gire las perillas “PROPORTIONAL” e “INTEGRATIVE” hasta la posición máxima.

- Coloque el multímetro para que mida tensiones continuas en el borne 21 con su referencia a tierra.

- Encienda las fuentes.
- Gire la perilla del "SET POINT" hasta su posición mínima (0°).
- Moviendo la perilla del "SET POINT" fijar la posición angular en cada uno de los valores indicados en la Tabla 3. La posición angular será la que registra la unidad TY36A/EV. El voltaje es el que registra el multímetro a la salida del bloque "POTENTIOMETER CONDITIONER".

Posición angular (°)	Voltaje (Volts)
30	
60	
90	
120	
150	
180	
210	
240	
270	
300	
330	
360	

Tabla 3

VI. Hoja de resultados

CONTROL DE VELOCIDAD Y POSICION

(Hoja de resultados)

(Introducción)

Alumnos:

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

Grupo: _____

Equipo: _____

1. ¿Cuál es el objetivo de la práctica?
2. ¿Para que sirve la etapa de acondicionamiento de un transductor?
3. Elabore una gráfica con los datos obtenidos en la tabla 1 (Voltaje de entrada vs Velocidad) y otra de voltaje de entrada contra voltaje de salida.

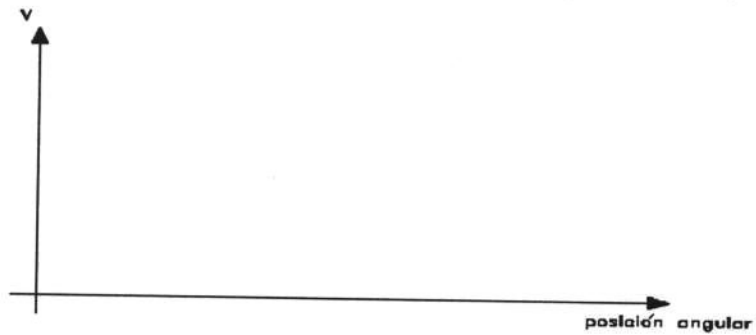


4. Trazar una curva que se aproxima a todos los puntos de la gráfica de la pregunta 4 (curva característica del transductor), y calcule por mínimos cuadrados la curva y determinar su relación o pendiente de la misma.
5. Elabore una gráfica con los datos obtenidos en la tabla 2 (Voltaje de entrada vs Velocidad) y otra de voltaje de entrada contra voltaje de salida.



6. Trazar una curva que se aproxima a todos los puntos de la gráfica de la pregunta 6 (curva característica del transductor de velocidad), y calcule por mínimos cuadrados la curva y determinar su relación o pendiente de la misma.

7. Elabore una gráfica con los datos obtenidos en la tabla 3 (posición angular vs tensión)



8. Trazar una curva que se aproxima a todos los puntos de la gráfica de la pregunta 6 (curva característica del transductor de posición), y calcule por mínimos cuadrados la curva y determinar su relación o pendiente de la misma.

9. Conclusiones.