

**AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO, PARA EL  
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN GRUPO MOTOR GENERADOR DC**

**DARWIN FRANCISCO TOVAR ZURIQUE**

**LUIS ALBERTO COVILLA EVAN**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T. H. Y C.**

**2010**

**AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO, PARA EL  
CONTROL DE VELOCIDAD DE UN GRUPO MOTOR GENERADOR DC**

**DARWIN FRANCISCO TOVAR ZURIQUE**

**LUIS ALBERTO COVILLA EVAN**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director**

**OSCAR SEGUNDO ACUÑA CAMACHO**

**Ingeniero electricista**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS, D. T. H. Y C.**

**2010**

**Cartagena de Indias, D. T. H. Y C. 27 de mayo de 2010**

**Señores:**

**Comité De Proyectos De Grado**

**Universidad Tecnológica De Bolívar.**

**Cartagena D. T. H. y C.**

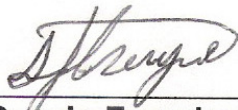
Respetados Señores:

Presentamos para su consideración el Proyecto de Grado titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN GRUPO MOTOR GENERADOR DC”.**

Como requisito para optar el título de Ingeniero Mecatrónico.

Atentamente,



**Darwin Francisco Tovar Zurique**  
C.C. 73.210.366 de C/gena



**Luis Alberto Covilla Evan**  
C.C. 1.047.392.723 de C/gena

**Cartagena de Indias, D. T. H. Y C. 27 de mayo de 2010**

**Señores**

**Comité De Proyectos De Grado**

**Universidad Tecnológica de Bolívar**

**Cartagena D. T. y C.**

Respetados Señores:

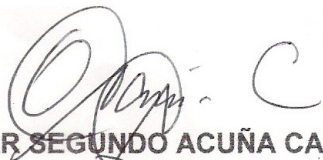
Presentamos para su consideración el Proyecto de Grado titulado:

**“AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN GRUPO MOTOR GENERADOR DC”.**

Como requisito para optar el título de Ingeniero Mecatrónico.

Espero que el contenido y las normas aplicadas cumplan con los requisitos exigidos por esta dirección.

Atentamente,



**OSCAR SEGUNDO ACUÑA CAMACHO**

**Director de Proyecto**

**Ingeniero Electricista**

***Nota de Aceptación***

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

**Cartagena de Indias D. T. y C. 27 de mayo de 2010**

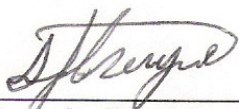
**ARTICULO 105**

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

**Cartagena de Indias D. T. y C 27 de mayo de 2010**

Yo, **Darwin Francisco Tovar Zurique**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la ley 23 de 1982 sobre los derechos de Autor, del trabajo final denominado **AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN GRUPO MOTOR GENERADOR DC** producto de mi actividad académica para optar el título Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que se establece la ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entregado al sistema de bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



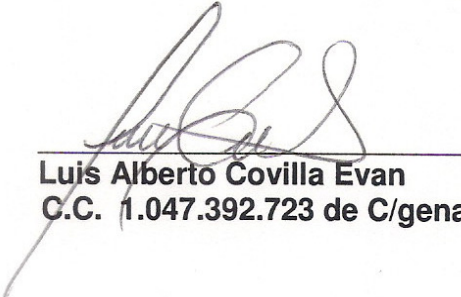
---

**Darwin Francisco Tovar Zurique**  
**C.C. 73.210.366 de C/gena**

**Cartagena de Indias D. T. y C 27 de mayo de 2010**

Yo, **LUIS ALBERTO COVILLA EVAN**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la ley 23 de 1982 sobre los derechos de Autor, del trabajo final denominado **AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UNA PLANTA PILOTO, PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN GRUPO MOTOR GENERADOR DC** producto de mi actividad académica para optar el título Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que se establece la ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entregado al sistema de bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



**Luis Alberto Covilla Evan**  
**C.C. 1.047.392.723 de C/gena**

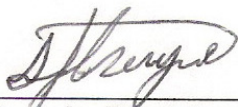


## AUTORIZACIÓN

**Cartagena de Indias D. T. y C 27 de mayo de 2010**

Yo **DARWIN FRANCISCO TOVAR ZURIQUE** identificado con la cédula de ciudadanía número 73.210.366 de Cartagena.

Autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON LINE de la Biblioteca.



---

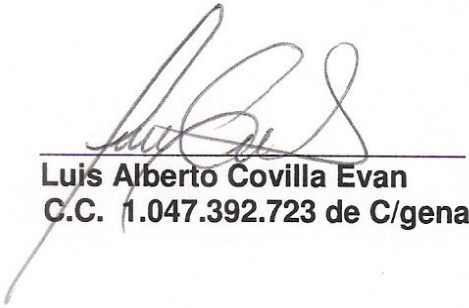
**Darwin Francisco Tovar Zurique**  
**C.C. 73.210.366 de C/gena**

## AUTORIZACIÓN

**Cartagena de Indias D. T. y C 27 de mayo de 2010**

Yo **LUIS ALBERTO COVILLA EVAN** identificado con la cédula de ciudadanía número 1.047.392.723 de Cartagena.

Autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso de mi trabajo de grado y publicarlo en el catálogo ON LINE de la Biblioteca.



**Luis Alberto Covilla Evan**  
**C.C. 1.047.392.723 de C/gena**

## **DEDICATORIA**

Le agradezco principalmente a Dios por permitirme alcanzar este triunfo.

A mi madre Dora Zurique Vargas, mi hermana Julie Tovar Zurique, mi sobrino Walter Alberto Pardo Tovar, a mi novia Grey Julio Agamez y a toda mi familia por el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A mis amigos, compañeros de la universidad y de trabajo por el aporte brindado para la culminación de esta monografía...

**Darwin Fráncico Tovar Zurique**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar dar gracias a Dios quien nos ha dado la vida, fortaleza y sabiduría para conseguir este logro tan anhelado.

A mis padres Manuel Covilla y Francia Evan por darme esa gran oportunidad de hacerme un gran profesional tanto en lo personal como en lo laboral, brindarme un apoyo incondicional y agradecerles por ese gran esfuerzo que hicieron que esta meta se cumpliera.

A mis hermanos Yuly Covilla y Manuel Enrique Covilla, a Karina Paternina, amigos y en especial a mis compañeros de curso quien de una u otra forma me ayudaron en los momentos que necesité, para poder junto a ellos culminar mi carrera profesional

**Luis Alberto Covilla Evan**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos al director de la monografía Oscar Segundo Acuña Camacho por su apoyo a lo largo del desarrollo de este trabajo, también se hace mención a los compañeros del minor de automatización industrial 2p-2008 y los profesores de cada modulo debido a la gran importancia de cada modulo en el desarrollo de la monografía.

# CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS .....	1
LISTA DE TABLAS .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	7
1.1 Planta Piloto.....	8
1.2 Instrumentación.....	15
1.2.1 Controlador lógico programable (PLC).....	15
1.2.2. Sensor de velocidad .....	22
1.2.3. Relé Electromecánico .....	24
1.2.4. Contactor Trifásico .....	26
2. DISEÑO DE LA AUTOMATIZACION .....	27
2.1 Panel de control .....	28
2.1.1 Elementos Panel de Operador.....	29
2.1.2. Conector Centronics .....	31
2.2 Diagrama P&ID .....	33
2.3. Modo manual .....	33
2.3.1. Conversor de frecuencia a voltaje.....	34

2.3.2 .Diagrama Eléctrico.....	39
2.3.3. Etapa de potencia .....	44
2.3.4. Etapa de Control .....	51
2.4. Modo automático .....	54
2.4.1. GRAFECT.....	55
2.4.2. Programación del PLC .....	56
3. DISEÑO DEL SUPERVISORIO .....	73
3.1. Comunicación .....	73
3.2. Variables .....	75
3.3. Diseño Grafico del Supervisorio.....	76
3.3.1. Panel de control Operador .....	76
3.3.2. Lazo Cerrado .....	78
3.3.3. Lazo Abierto.....	79
3.3.4. Imagen parámetros del motor .....	80
3.3.5. Imagen parámetros del generador.....	81
4. PRACTICA DE LABORATORIO .....	82
5.0 RESULTADOS OBTENIDOS.....	89
5.1 Control automático en vacio.....	89
5.2 Control automático con carga de 100 watt.....	92

5.3 Control automático con carga de 200 watt.....	96
5.4 Control automático con carga de 300 watt.....	99
5.5 Rango de velocidades para control.....	101
CONCLUSIONES .....	102
BIBLIOGRAFIA.....	104



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Grupo Motor Generador	7
<b>Figura 2.</b> Sistema de Control Realimentado para el lazo de Control	7
<b>Figura 3.</b> Planta Piloto	9
<b>Figura 4.</b> Representación De Las Partes Esenciales De Una Máquina De Corriente continua	10
<b>Figura 5.</b> Tipos De Exitacion De Los Motores De Corriente Continua	12
<b>Figura 6.</b> Circuito Electrico De Un Motor De Corriente Continua	13
<b>Figura 7..</b> Estructura Interna De Un Plc	16
<b>Figura 8.</b> Banco del PLC S7-200	17
<b>Figura 9.</b> STEP 7 MicroWin	22
<b>Figura 10.</b> Sensor Inductivo	23
<b>Figura 11.</b> Diagrama de Conexión Sensor Inductivo	23
<b>Figura 12.</b> Símbolo del Relé	25
<b>Figura 13.</b> Partes principales del Relé	25
<b>Figura 14.</b> Símbolo del Contactor trifasico	26
<b>Figura 15.</b> Imagen del contactor trifasico	26
<b>Figura 16.</b> Diagrama de Automatizacion del GMG	27
<b>Figura 17.</b> Selector M/A	29
<b>Figura 18.</b> Pulsador de Arranque	29
<b>Figura 19.</b> Pulsador de Parada	29

<b>Figura 20.</b> Parada De Emergencia	29
<b>Figura 21.</b> Indicadores Luminosos	30
<b>Figura 22.</b> Potenciómetro de Precisión	30
<b>Figura 23.</b> Voltímetro Análogo	30
<b>Figura 24.</b> Amperímetro Análogo	30
<b>Figura 25.</b> Switch On/Off	31
<b>Figura 26.</b> Conector Centronics macho (entradas)	31
<b>Figura 27.</b> Conector Centronics hembra (salidas)	32
<b>Figura 28.</b> Diagrama P&ID	33
<b>Figura 29.</b> Configuración IC LM2907N	35
<b>Figura 30.</b> Forma de onda e/s acondicionador de señal del sensor	38
<b>Figura 31.</b> Diagrama de conexión acondicionador señal del sensor	38
<b>Figura 32.</b> Diagrama eléctrico control	40
<b>Figura 33.</b> Diagrama eléctrico fuerza	41
<b>Figura 34.</b> Diagrama puente monofásico semicontrolado simétricamente	45
<b>Figura 35.</b> Circuito puente monofásico semicontrolado simétricamente	47
<b>Figura 36.</b> Forma de onda de voltaje y corriente	48
<b>Figura 37.</b> Generador de pulso con amplificador operacional	52
<b>Figura 38.</b> GRAFCET del GMG	56
<b>Figura 39.</b> Diagrama de flujo de comunicación	75
<b>Figura 40.</b> Panel de Control Operador	77
<b>Figura 41.</b> Lazo Cerrado	78
<b>Figura 42.</b> Parámetros del motor	80

<b>Figura 43.</b> Parámetros del Generador	81
<b>Figura 44.</b> Control automático 800 RPM en vacío.	90
<b>Figura 45.</b> Control automático 1000 RPM en vacío.	91
<b>Figura 46.</b> Control automático 1200 RPM en vacío.	91
<b>Figura 47.</b> Control automático 1500 RPM en vacío.	92
<b>Figura 48.</b> Montaje para prueba con carga de 100 Watt.	92
<b>Figura 49.</b> Control automático a 800 RPM con carga de 100 Watt.	93
<b>Figura 50.</b> Control automático a 1000 RPM con carga de 100 Watt	94
<b>Figura 51.</b> Control automático a 1200 RPM con carga de 100 Watt.	95
<b>Figura 52.</b> Control automático a 1500 RPM con carga de 100 Watt.	96
<b>Figura 53.</b> Montaje para prueba con carga de 200 Watt.	96
<b>Figura 54.</b> Control automático a 900 RPM con carga de 200 Watt	97
<b>Figura 55.</b> Control automático a 1200 RPM con carga de 200 Watt.	98
<b>Figura 56.</b> Control automático a 1500 RPM con carga de 200 Watt.	98
<b>Figura 57.</b> Montaje para prueba con carga de 300 Watt.	99
<b>Figura 58.</b> Control automático a 1200 RPM con carga de 300 Watt.	100
<b>Figura 59.</b> Control automático a 1500 RPM con carga de 300 Watt	100

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Comparación de funciones de CPU.	18
<b>Tabla 2.</b> Características módulos de ampliación analógicos.	19
<b>Tabla 3.</b> Características módulos de ampliación digitales.	20
<b>Tabla 4.</b> Señales del conector Centronics.	32
<b>Tabla 5.</b> Pruebas sensor de velocidad	38
<b>Tabla 6.</b> Símbolos plano eléctrico	42
<b>Tabla 7.</b> Resistencia para los devanados de campo y armadura.	49
<b>Tabla 8.</b> Consumo de potencia del par motor - generador.	50
<b>Tabla 9.</b> Valores elementos del generador de pulso.	53
<b>Tabla 10.</b> Definición de variables principales.	57
<b>Tabla 11.</b> Rango de velocidades para control automático.	101

# INTRODUCCIÓN

En este trabajo se realizó la automatización y la supervisión de un Grupo Motor Generador DC, y se aplicó un control de velocidad sobre esta planta piloto. Para ello se implementaron herramientas industriales de marca Siemens, como el PLC S7 200 para el control de velocidad y el software WinCC Flexible 2008 para la parte supervisoria. En el desarrollo del trabajo se tuvo especial cuidado en aplicar los estándares de documentación y buenas prácticas propuestas por ISA.

El documento está dividido en cinco capítulos. En el capítulo 1 se realiza una descripción del proceso en general, al igual que la descripción de la planta piloto y la instrumentación industrial utilizada (descripción del PLC, sensores, relés, otros dispositivos).

El capítulo dos contiene la descripción del diseño de la automatización; en este capítulo se explican el panel de control físico de la planta y sus elementos, luego se exhibe el diagrama de P&ID, el modo de operación manual indicando el diagrama eléctrico del sistema, la etapa de potencia, el diseño del PID y el control de cargas del generador. Al final se presenta el modo de operación automática en la cual se realiza la programación del PLC teniendo en cuenta el diseño del GRAFCET, y por último la configuración del PID en el PLC S7-200.

En el capítulo tres se realiza una descripción del diseño del sistema de supervisión, se explica la comunicación existente entre el PLC S7-200 y el programa WinCC Flexible 2008 mediante el software OPC SIMATIC S7-200 PC Access, exhibiendo las variables utilizadas, el panel de control (HMI) y las ventanas de control de la planta piloto.

En el capítulo cuatro se describe la práctica de laboratorio realizada en el banco del grupo motor generador por medio de la cual se ejecuta el control de velocidad y se analiza el comportamiento de la dinámica del sistema cuando es sometido a una carga variable en los terminales del generador.

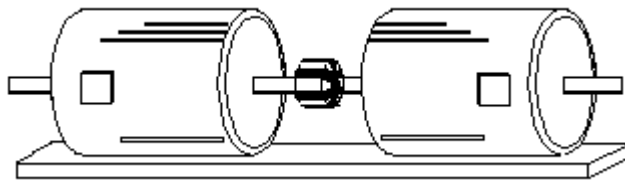
El capítulo cinco contiene la discusión sobre el desarrollo del proyecto, las sugerencias a partir de las experiencias adquiridas durante la automatización realizada y unas conclusiones sobre el trabajo en general.

El principal aporte de este trabajo es el prototipado de una planta industrial a escala automatizada, supervisada y controlada con herramientas industriales de amplio uso en las empresas del sector.

# 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

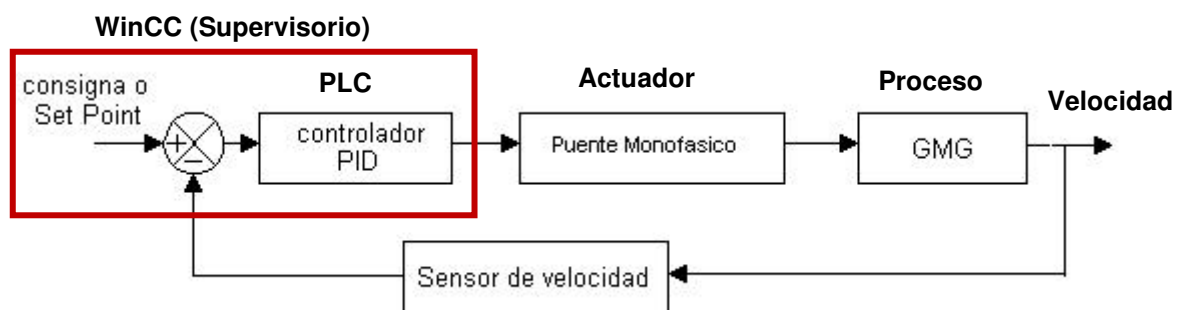
La planta piloto a automatizar consiste en un sistema de control de velocidad de giro de un Grupo Motor-Generador (GMG) DC de 2200 Watt, mostrado en la Figura 1, esta máquina de corriente continua está configurada en excitación independiente. Este GMG podrá variar su velocidad entre 800 y 1500 rpm, con el cual el proceso empieza su funcionalidad a partir de las rpm dadas por el usuario, ya sean en el panel físico o en el HMI.

**Figura 1.** Grupo motor generador.



Para este caso se implemento el control realimentado de un solo lazo utilizando el PLC Siemens S7 200, el cual posee un asistente de operaciones PID para su autosintonía, este sistema de control se observa en la Figura 2.

**Figura 2.** Sistema de Control Realimentado para el lazo de Control.



**Proceso:** GMG DC de 2200 Watt.

**Actuador:** Puente Monofásico Semicontrolado Simétricamente.

**Sensor:** Sensor de proximidad Inductivo (CTS1204PA).

**Controlador:** PLC Siemens S7 200.

**Panel de control:** tipo industrial: con pulsadores, pilotos, relés etc.

A continuación se realiza una breve descripción de la planta piloto y su respectiva instrumentación.

## **1.1 Planta Piloto**

La planta piloto que se automatizó, la cual es mostrada en la Figura 3, consiste de un GMG DC, acoplados mecánicamente, mediante un acople tipo spider, utilizando como elemento de medición un sensor inductivo de proximidad, un disco ranurado y un convertidor de frecuencia a voltaje.

La automatización se realiza por medio del PLC Siemens S7 200, el cual es programado mediante el software Step-7 MicroWIN 4.0, este se comunica al computador por medio del software OPC SIMATIC S7-200 PC Access, se ejerce la acción desde el software WinCC Flexible 2008 de Siemens para realizar la supervisión del sistema de control.



**Figura 3.** Planta Piloto



El funcionamiento en modo manual del GMG, consta de un puente monofásico semicontrolado simétricamente alimentado a 220 VAC y controlado por medio de un generador de pulso con circuito integrado que se le puede variar el ángulo de disparo por medio de un voltaje variable de 0 a 10 VDC.

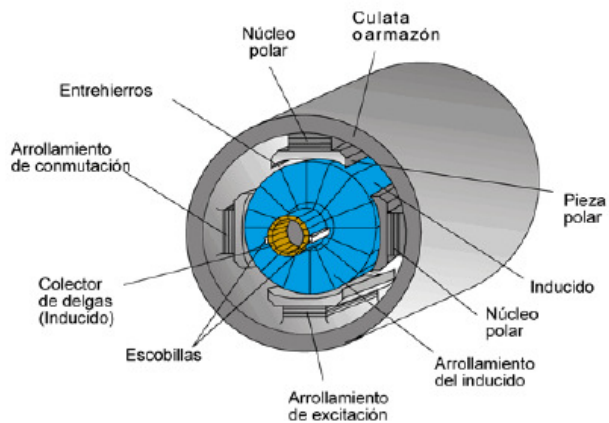
En las máquinas de corriente continua, el inductor (campo) produce el campo magnético necesario para que se produzcan corrientes inducidas.

En el inducido (Armadura) se desarrollan las corrientes inducidas por medio campo magnético producido en el inductor. Finalmente, el colector es el órgano que recoge las corrientes producidas por el inducido, obteniéndose corriente

continua; esto, en el caso de un generador. O, por el contrario, sirve para recoger la corriente de la línea de alimentación para que, por reacción sobre el campo magnético inductor se produzca un movimiento rotatorio, en el caso de un motor. En la Figura 4 se muestra en detalle cada una de las partes esenciales de una maquina de Corriente Continua.

Para mejorar la conmutación (problemas de chisporroteo en las escobillas), estas máquinas suelen llevar otros polos intermedios, que reciben también el nombre de polos auxiliares o de conmutación. El devanado de estos polos se conecta en serie con el inducido.

**Figura 4.** Representación de las partes esenciales de una máquina de corriente continúa



Un motor de corriente continua puede ser conectado en 4 configuraciones diferentes como excitación independiente, de excitación en derivación, excitación

en serie y excitación compuesta, este tipo de conexiones se detallan en la Figura 5.

**Excitación Independiente:** Son aquellos que obtienen la alimentación del rotor y del estator de dos fuentes de tensión independientes. Con ello, el campo del estator es constante al no depender de la carga del motor, y el par de fuerza es entonces prácticamente constante. Las variaciones de velocidad al aumentar la carga se deberán sólo a la disminución de la fuerza electromotriz por aumentar la caída de tensión en el rotor.

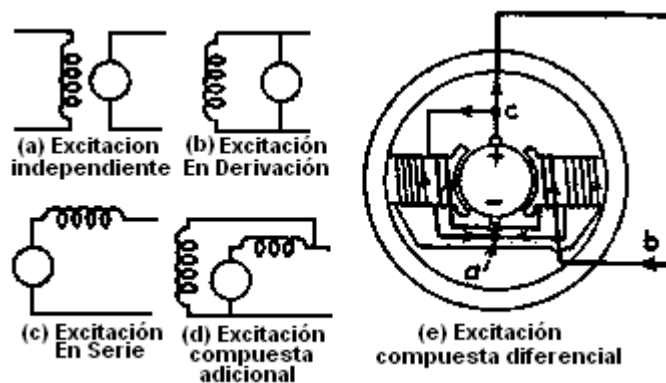
**Excitación En Derivación:** Los devanados del inducido e inductor están conectados en paralelo y alimentados por una fuente común. También se denominan máquinas *shunt*, y en ellas un aumento de la tensión en el inducido hace aumentar la velocidad de la máquina.

**Excitación En Serie:** Los devanados de inducido y el inductor están colocados en serie y alimentados por una misma fuente de tensión. En este tipo de motores existe dependencia entre el par y la velocidad; son motores en los que, al aumentar la corriente de excitación, se hace disminuir la velocidad, con un aumento del par.

**Excitación Compuesta:** También llamados *compound*, en este caso el devanado de excitación tiene una parte de él en serie con el inducido y otra parte en

paralelo. El arrollamiento en serie con el inducido está constituido por pocas espiras de gran sección, mientras que el otro está formado por un gran número de espiras de pequeña sección. Permite obtener por tanto un motor con las ventajas del motor serie, pero sin sus inconvenientes. Sus curvas características serán intermedias entre las que se obtienen con excitación serie y con excitación en derivación. Existen dos tipos de excitación compuesta. En la llamada *compuesta adicional* el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos serie y paralelo es el mismo, por lo que sus efectos se suman, a diferencia de la *compuesta diferencial*, donde el sentido de la corriente que recorre los arrollamientos tiene sentido contrario y por lo tanto los efectos de ambos devanados se restan.

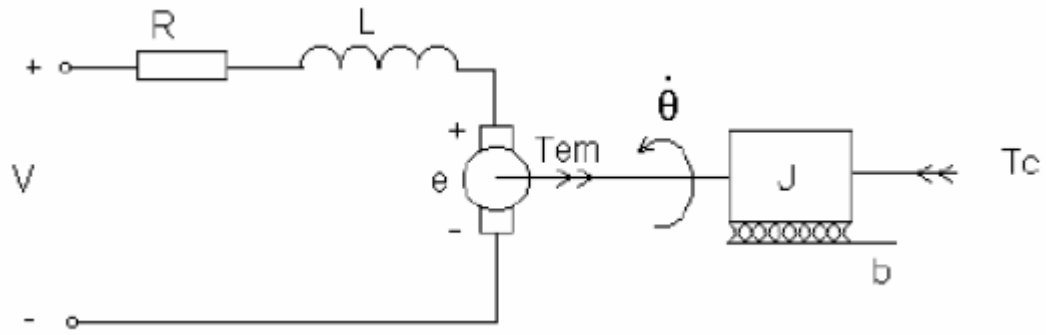
**Figura 5.** Tipos de Excitación de los Motores de corriente continúa



De acuerdo a los tipos de excitación de los motores se decidió conectar el motor con excitación independiente manteniendo el voltaje de campo constante y variar el voltaje en la armadura del motor, por lo que pasamos a estudiar el diagrama

eléctrico de conexión del motor que se muestra en la Figura 6, para obtener un modelo matemático del comportamiento del motor.

**Figura 6.** Circuito Eléctrico de un Motor de corriente continúa



Donde los elementos que rigen el comportamiento del motor son

$V =$  Voltaje de alimentacion

$I =$  Momento de inercia del motor

$b =$  razon de amortiguamiento del sistema mecanico

$K = K_e = K_t =$  constante de la fuerza electromotriz

$R =$  Resistencia electrica

$L =$  Inductancia electrica

$\theta =$  Posicion del eje

El rotor y el eje son considerados como cuerpos rigidos

El par del motor,  $T$ , está relacionado con la corriente en la armadura,  $i$ , por un factor constante  $K_t$ . La fuerza contraelectromotriz,  $e$ , está relacionada con la velocidad de giro según la siguiente ecuación:

$$\tau = K_t i$$

$$e = K_e \dot{\theta}$$

En unidades del sistema internacional  $K_t$  (la constante de la armadura) es igual a  $K_e$  (constante de motor).

Basándose en la configuración de la Figura 6 se puede escribir las siguientes ecuaciones basadas en las leyes de Newton y las leyes de Kirchhoffs:

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki$$

$$L\frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta}$$

Usando la transformada de Laplace las ecuaciones del modelo anterior pueden expresarse en términos de  $s$ .

$$s(Js + b)\Theta = KI(s)$$

$$(Ls + R)I(s) = V - K(s)\Theta(s)$$

Eliminando  $I(s)$  se puede obtener la función de transferencia de bucle abierto, donde la velocidad de rotación es la salida y la tensión es la entrada.

$$\frac{\theta}{V} = \frac{K}{(Js + b)(Ls + R) + K^2}$$

En la forma de espacio de estado, las ecuaciones anteriores pueden expresarse eligiendo la velocidad de rotación y la corriente eléctrica como variables de estado y la tensión como entrada. La salida será la velocidad de rotación.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{J} & \frac{K}{J} \\ -\frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} V$$

$$\dot{\theta} = [1 \ 0] \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ i \end{bmatrix}$$

## 1.2 Instrumentación

En esta sección se explicará cada uno de los instrumentos utilizados para ejercer el control de velocidad del GMG.

### 1.2.1 Controlador lógico programable (PLC)

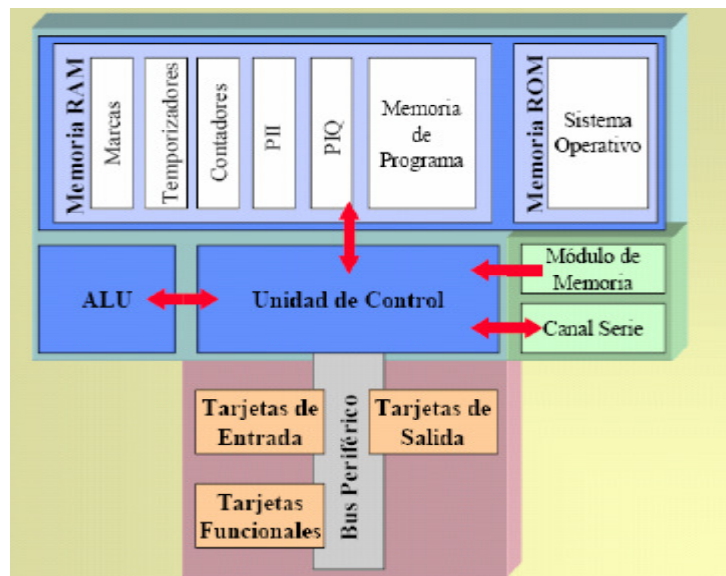
Un controlador lógico programable PLC es una máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. La lógica programada es basada en los siguientes elementos como parte del órgano de mando.

- **Tarjeta de entrada/salida** son la interfaz entre los dispositivos de E/S (Sensores, Actuadores) y el Controlador.
- **Unidad de proceso** sustituye los diferentes elementos de mando, por un sistema basado en un procesador, capaz de realizar funciones lógicas de mando ejecutando una secuencia de instrucciones apropiadas.
- **Programa de mando** constituye la secuencia de instrucciones que ejecuta la unidad de proceso para el control del sistema. Esta secuencia de

instrucciones reside en una zona de memoria en la unidad de proceso. El programa de mando se genera en un dispositivo ajeno al propio órgano de mando (aparato de programación, PC industrial).

El esquemático de la estructura interna de un PLC se observa en la Figura 7.

**Figura 7.** Estructura Interna de un PLC.



La CPU en un PLC contiene la unidad de control que gobierna la ejecución de programa, unidad aritmético-lógica para la realización de ecuaciones matemáticas, memorias RAM, ROM y EEPROM (opcional para el almacenamiento del programa y sus datos).

Existen varios fabricantes de PLCs como Allen Bradley, GE Fanuc, LG Glofa, OMRON, TELEMCHANIQUE y SIEMENS. Estos fabricante producen PLC de alta, media y baja gama, para cubrir todo el campo de la automatización industria, en el caso siemens uno principales fabricante produce PLC bajo referencia S7-400



(gama alta), s7-300 (gama media) y el S7-200 (gama baja), la planta piloto está provista de un PLC siemens SIMATIC S7-200.

La gama S7-200 comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro-PLCs) que se pueden utilizar para numerosas tareas. El S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario que puede incluir operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos inteligentes. Gracias a su diseño compacto, su configuración flexible y su amplio juego de operaciones, el S7--200 es especialmente apropiado para solucionar numerosas tareas de automatización, en la Figura 8 observamos el banco del PLC S7-200.

**Figura 8.** Banco del PLC S7-200



Siemens dispone de diferentes modelos de CPUs S7--200 que ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones para crear soluciones efectivas de automatización destinadas a numerosas aplicaciones. En la tabla 1, se comparan de forma resumida algunas de las funciones de la CPU.

**Tabla 1.** Comparación de funciones de CPU

Función	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP. CPU 224XPsi	CPU 226
Dimensiones físicas (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120.5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Memoria del programa: con edición en runtime	4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	12288 bytes	16384 bytes
Sin edición del runtime	4096 bytes	4096 bytes	12288 bytes	16384 bytes	24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (tip.)	50 horas (tip.)	100 horas (tip.)	100 horas (tip.)	100 horas (tip.)
E/S integradas					
Digitales	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S	24 E/16 S
Analógicas				2 E/1 S	
Modos de ampliación	0 módulos	2 módulos	7 módulos	7 módulos	7 módulos
Contadores rápidos					
Fase simple	4 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz	4 a 30 kHz	6 a 30 kHz
Dos fases	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	4 a 20 kHz	2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	4 a 20 kHz
Salidas de impulsos (DC)	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 20 kHz	2 a 100 kHz	2 a 20 kHz
Potenciómetros	1	1	2	2	2

analógicos					
Reloj de tiempo real	Cartucho	Cartucho	Incorporado	Incorporado	Incorporado
Puertos de comunicación	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Aritmética en coma flotante	Si				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E/128 S)				
Velocidad de ejecución booleana	0.22 microsegundos/operación				

El PLC de la planta piloto tiene una CPU 224 DC/DC, además tiene un modulo de ampliación analógica EM 235, un modulo de ampliación de 8 entrada digitales y 8 salidas tipo relé EM 223 y una de comunicación Profibus DP, en la tabla 2 y 3, se observa las características de estos módulos

**Tabla 2.** Características módulos de ampliación análogos

N° de referencia	Módulos de ampliación	Entradas del modulo	Salidas del modulo	Conector extraíble
6ES7 231-0HC22-0XA0	EM 231, 4 entradas analógicas	4	-	No
6ES7 231-0HF22-0XA0	EM 231, 8 entradas analógicas	8	-	No
6ES7 232-0HB22-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas	-	2	No
6E7 232-0HD22-0XA0	EM 232, 4 salidas analógicas	-	4	No
6ES7 235-0KD22-0XA0	EM 235, 4 entradas	4	1	No

	analógicas/ 1 salida analógica			
--	-----------------------------------	--	--	--

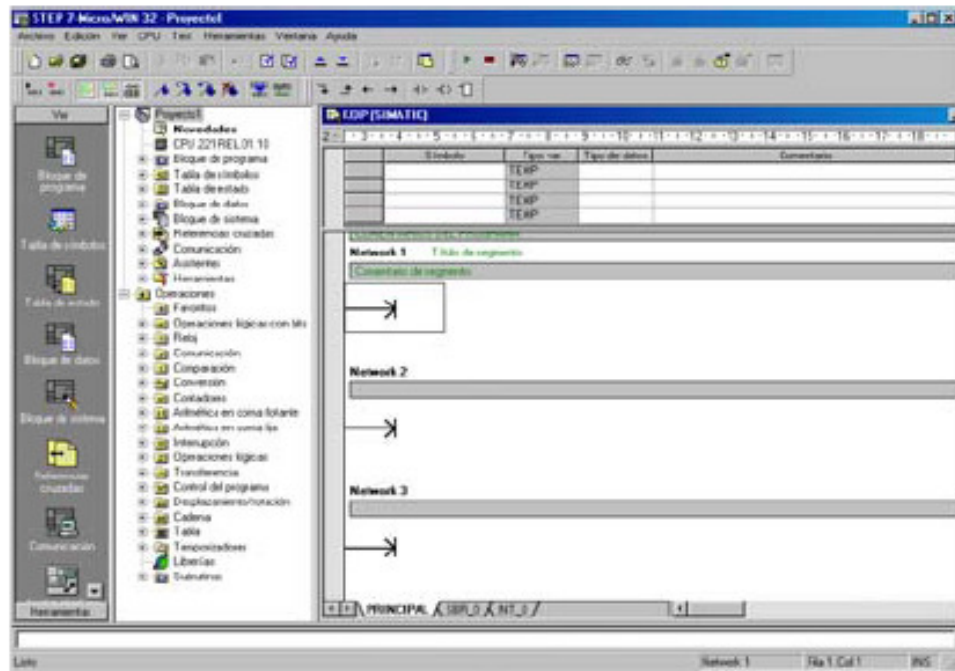
**Tabla 3.** Características módulos de ampliación digitales

<b>N° de referencia</b>	<b>Modulo de ampliación</b>	<b>Entradas Digitales</b>	<b>Salidas Digitales</b>	<b>Conector extraíble</b>
6ES7 221-1BF22-0XA0	EM221 8 entradas digitales x 24 VDC	8 x 24 VDC	-	Si
6ES7 221-1EP22-0XA0	EM221 8 entradas digitales x 120/230 VAC	8 x 120/230 VAC	-	Si
6ES7 221-1BH22-0XA0	EM221 16 entradas digitales x 24 VDC	16 x 24 VDC		Si
6ES7 222-1BD22-0XA0	EM222 4 salidas digitales x 24 VDC5A	-	4 x 24 VDC-5A	Si
6ES7 222-1HD22-0XA0	EM222 4 salidas digitales x relé 10A	-	4x relé10A	Si
6ES7 222-1BP22-0XA0	EM222 8 salidas digitales x 24 VDC	-	8x24VDC- 0.75A	Si
6ES7 222-1HP22-0XA0	EM222 8 salidas digitales x relé	-	8x relé 2A	Si
6ES7 222-1EP22-0XA0	EM222 8 salidas digitales x 120/230 VAC	-	8x120/230 VAC	Si
6ES7 223-1BP22-0XA0	EM 223 4 entradas digitales/ 4 salidas digitales x 24VDC	4 x 24 VDC	4x24 VDC 0.75A	Si
6ES7 223-1HP22-0XA0	EM 223 4 entradas digitales	4 x 24 VDC	4x relé 2A	Si

	/4 salidas de relé x 24 VDC			
6ES7 223-1BH22-0XA0	EM 223 8 entradas digitales/8 salidas digitales x 24 VDC	8 x 24 VDC	8x24 VDC 0.75A	Si
6ES7 223-1PH22-0XA0	EM 223 8 entradas digitales/8 salidas de relé x 24 VDC	8 x 24 VDC	8 x relé 2A	Si
6ES7 223-1BL22-0XA0	EM 223 16 entradas digitales/16 salidas digitales x 24 VDC	16 x 24 VDC	16x24 VDC 0.75A	Si
6ES7 223-1PL22-0XA0	EM 223 16 entradas digitales/16 salidas de relé x 24 VDC	16 x 24 VDC	16 x relé 2A	Si
6ES7 223-1BM22-0XA0	EM 223 32 entradas digitales/32 salidas digitales x 24 VDC	32 x 24 VDC	32 x 24 VDC-0.75A	Si
6ES7 223-1PM22-0XA0	EM 223 32 entradas digitales/32 salidas de relé x 24 VDC	32 x 24 VDC	32 x relé- 2A	Si

El software de programación del S7-200 es STEP 7 MicroWIN, este constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación. STEP 7--Micro/WIN provee tres editores que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control, en la Figura 9, se observa el entorno del Step 7 Microwin.

**Figura 9.** Step 7 Microwin.



Siemens ofrece dos opciones de programación para conectar el PC al S7-200 con el STEP 7 MicroWIN una conexión directa vía un cable PPI multimaestro, o bien un procesador de comunicaciones (CP) con un cable MPI. El cable de programación PPI multimaestro es el método más usual y más económico de conectar el PC al S7--200. Este cable une el puerto de comunicación del S7--200 con el puerto serie del PC. El cable de programación PPI multimaestro también se puede utilizar para conectar otros dispositivos de comunicación al S7-200.

### **1.2.2. Sensor de velocidad**

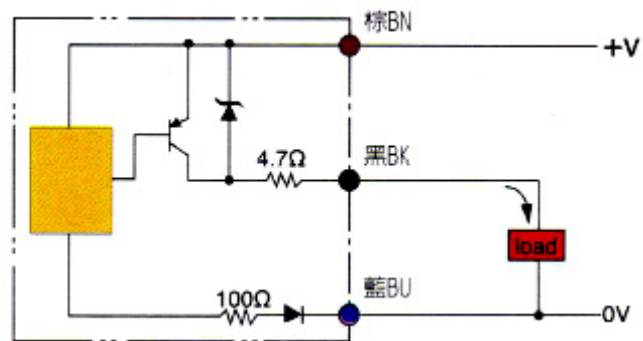
El sensor de velocidad está compuesto por un sensor inductivo, un disco ranurado, un convertidor de frecuencia a voltaje. Este conjunto genera una señal de voltaje proporcional a la velocidad del GMG.

El sensor inductivo mostrado en la Figura 10 con referencia TS1204 de 12 mm de diámetro y 4 mm de alcance, con un área segura de trabajo de 0 a 3,6 mm, la alimentación de 10 a 30 VDC, la conexión es mostrada en la Figura 11.

**Figura 10.** Sensor Inductivo



**Figura 11.** Diagrama de Conexión Sensor Inductivo



Para la selección del disco ranurado tomamos como referencia una velocidad máxima del GMG de 1800 rpm y la máxima respuesta en frecuencia del sensor.

Maxima Revoluciones del proceso (MRP) = 1800rpm = 30Hz

Maxima Repuesta en Frecuencia *Sensor* (MRF) = 600Hz

Maximo numero de ranuras =  $\frac{MRF}{MRP} = \frac{600}{30} = 20$

Multiplo de 360 = 20, 18, 12, 10, 9, 8, 6, 4, 3, 2.

Escogemos un disco de 18 ranuras para garantizar el buen funcionamiento del sensor

El disco de 18 ranuras con 13cm de diámetro es acoplado al eje del generador, mientras el GMG está girando a una velocidad determinada, el sensor inductivo es activado por el disco ranurado, generando un tren de pulso con una frecuencia equivalente a la velocidad del GMG afectado por una constante Determinada así.

$$V(rpm) = \frac{F(hz) * 60seg}{18 * 1 min} = 3.33(seg / min) * F(hz)$$

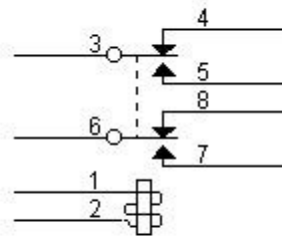
Por lo tanto cuando el GMG este girando a 1800 RPM el sensor inductivo generara una señal cuadrada con una frecuencia máxima de 554.4 Hz.

### 1.2.3. Relé Electromecánico

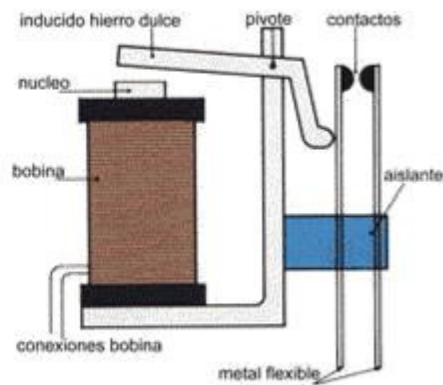
El relé es un dispositivo que consta de dos circuitos diferentes: un circuito electromagnético (electroimán) y un circuito de contactos, al cual aplicaremos al circuito que queramos controlar. En la Figura 11, se observa la simbología del relé y en la Figura 12, sus partes principales.



**Figura 12.** Símbolo del relé.



**Figura 13.** Partes principales del relé.



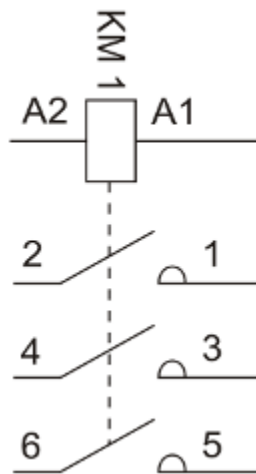
Su funcionamiento se basa en el fenómeno electromagnético. Cuando la corriente atraviesa la bobina, produce un campo magnético que magnetiza un núcleo de hierro dulce (ferrita). Este atrae al inducido que fuerza a los contactos a tocarse. Cuando la corriente se desconecta vuelven a separarse.

Los símbolos que aparecen en la Figura 11 poseen solo uno y dos circuitos, pero existen relés con un mayor número de ellos.

### 1.2.4. Contactor Trifásico

Un contactor es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina (en el caso de ser contactores instantáneos). Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción, en la Figura 13, se observa el símbolo de un contactor trifásico y en la Figura 14, se observa la imagen de un Contactor trifásico.

**Figura 14.** Símbolo del Contactor trifásico **Figura 15.** Imagen Contactor trifásico

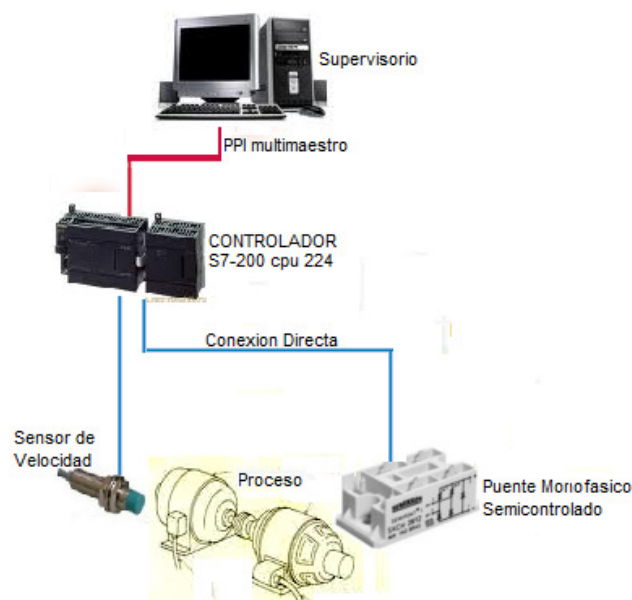


## 2. DISEÑO DE LA AUTOMATIZACION

En este punto se implemento un panel de control y se utilizo un PLC siemens (controlador), el software de monitoreo y control WinCC Flexible 2008.

Todo sistema de automatización está formado por tres partes, el proceso que se desea controlar, el controlador que tiene como función gobernar el proceso y la parte de supervisión que sirve de interface entre la maquina y el operador. Para que se produzca el intercambio de información entre una parte y otra es necesario establecer interfaces o líneas de comunicación, el diagrama de automatización correspondiente a la planta piloto se muestra a continuación en la Figura 16.

**Figura 16.** Diagrama de Automatización del GMG



La interface de comunicación entre el sistema de supervisión y el PLC es PC PPI, mientras que entre la parte operativa y el controlador no existe una interface o protocolo de comunicación, la conexión entre estas dos parte es directa.

## **2.1 Panel de control**

La planta piloto puede ser operada en dos modos, modo automático y modo manual, la selección del modo de operación se realiza desde el panel de operador. En modo automático el PLC controla el proceso de acuerdo a la programación del mismo, mientras que en modo manual se incide directamente en el valor del voltaje suministrado a la bobina de armadura.

El panel de operador sirve de interface entre el operador y la maquina, el panel de esta planta piloto fue diseñado para que realizara las siguientes funciones:

- Arranque y parada del proceso
- Selección de modo de operación (manual o automático)
- Parada de emergencia del proceso, en caso de que sea necesario.
- Selección análoga de la consigna del proceso
- Indicación luminosa de proceso encendido, apagado, alarma y pérdida de campo.
- Selección del voltaje de armadura en modo manual.
- Control de cargas del generador.

- Indicación análoga de voltaje y corriente de armadura del motor.
- Indicación análoga de la velocidad del GMG.

### 2.1.1 Elementos Panel de Operador

Selector manual/automático

Tipo: Muletilla termoplástico  
 Dimensión: 22 mm  
 Posiciones: 2 Posiciones fijas +1NO + 1 NC

**Figura 17.** Selector M/A



Pulsador de arranque

Tipo: Base Metálica  
 Dimensión: 22 mm  
 Retorno por resorte  
 Contacto auxiliar

**Figura 18.** Pulsador de Arranque



- Pulsador de parada

Tipo: Base Metálica  
 Dimensión: 22 mm  
 Retorno por resorte  
 Contacto auxiliar

**Figura 19.** Pulsador de Parada



- Parada de emergencia

Dimensión: 50 x 66 x 66 mm  
 Seta Ø40mm color rojo  
 Girar para desenclavar  
 Fabricante: SASSIN

**Figura 20.** Parada De Emergencia



- Indicadores Luminosos

Rojo: Stop  
 Verde: Start  
 Azul: Perdida de campo  
 Amarillo: Alarma  
 Dimensión: 22 mm  
 Voltaje de alimentación: 24 VCA/DC

**Figura 21.** Indicadores Luminosos



- Potenciómetro de precisión

Potenciómetro lineal  
 Una vuelta  
 20k ohmios

Perilla del potenciómetro  
 Diámetro inferior: 29 mm  
 Diámetro superior: 15 mm  
 Alto 18 mm.

**Figura 22.** Potenciómetro de Precisión



- Voltímetro análogo

Rango: 0-300V AC/DC  
 Clase: 2.5  
 Dimensiones: 50 x 50 mm  
 Fabricante: EBC  
 Lectura directa

**Figura 23.** Voltímetro Análogo



- Amperímetro análogo

Rango: 0-20 ADC  
 Clase: 2.5  
 Dimensiones: 701 x 60 x 35 mm  
 Fabricante: Tech  
 Lectura directa

**Figura 24.** Amperímetro Análogo



- Switch de activación cargas generador.

Switch balancín sencillo  
Doble posición on - off  
Dimensiones: 32 x 18 x 20 mm  
Con piloto

**Figura 25.** Switch On/Off



### 2.1.2. Conector Centronics

Los conectores tipo Centronics usados en el panel de control poseen 36 pines, los pines usados para el conector macho Figura 26. (Entradas) y el conector Hembra Figura 27. (Salidas), se encuentran en la tabla 4.

**Figura 26.** Conector centronics macho (entradas)



**Figura 27.** Conector centronics hembra (salidas)



**Tabla 4.** Señales del conector Centronics

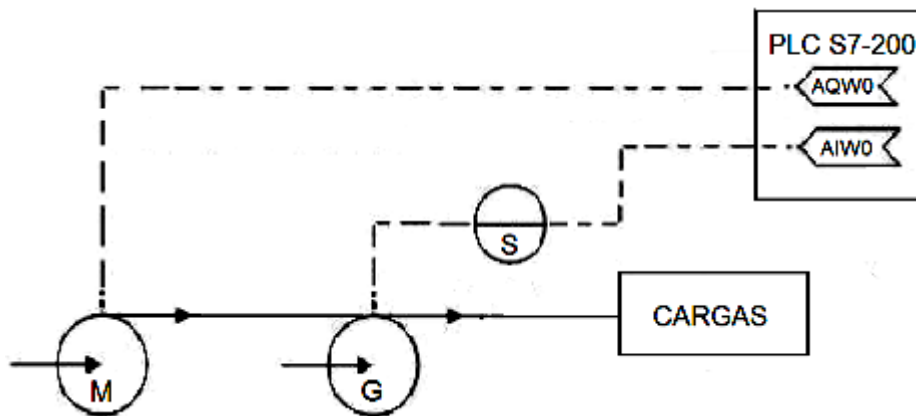
Centronics Macho PIN	Señal	Descripción
1	I0.0	Selector Automático-Manual de Panel de control
2	I0.1	Pulsador (Start) de inicio del panel de control
3	I0.2	Pulsador de parada de Panel de control
4	I0.3	Parada de emergencia del panel de control
5	I0.4	Activar (Sw1) carga RL1
6	I0.5	Activar (Sw2) carga RL2
7	I0.6	Activar (Sw3) carga RL3
15	M	Masa o tierra del PLC S7-200
16	L+	Alimentación 24 VDC de PLC
26	A+	Entrada análoga positiva para la señal de sensor
27	A-	Entrada análoga negativa para la señal de sensor
32	C+	Entrada análoga positiva para la consigna desde el panel de control
33	C-	Entrada análoga negativa para la consigna desde el panel de control
Centronics Hembra PIN		
1	1M (Aw0)	Salida análoga del PLC S7-200
2	1L+ (Aw0)	Salida análoga del PLC S7-200
3	Q0.0	Relé electromecánico CR1
4	Q0.1	Bombilla indica Alarma del sistema
5	Q0.2	Bombilla indica Alarma por perdida de campo
31	M	Masa del PLC s7-200



## 2.2 Diagrama P&ID

Diagrama P&ID del GMG de velocidad se observa en la Figura 28; basado en la norma ISA 55.1 - 55.3.

**Figura 28.** Diagrama P&ID



## 2.3. Modo manual

El modo de operación manual consiste en maniobrar el proceso con ausencia del controlador PLC sin ejercer acción de control sobre el sistema en funcionamiento, es decir operar el GMG en lazo abierto. Cuando el GMG se encuentre en modo operación manual se podrá realizar siguiente funciones:

- Arranque y parada del proceso
- Parada de emergencia en caso que sea necesario.
- Variación del voltaje de armadura en el motor.

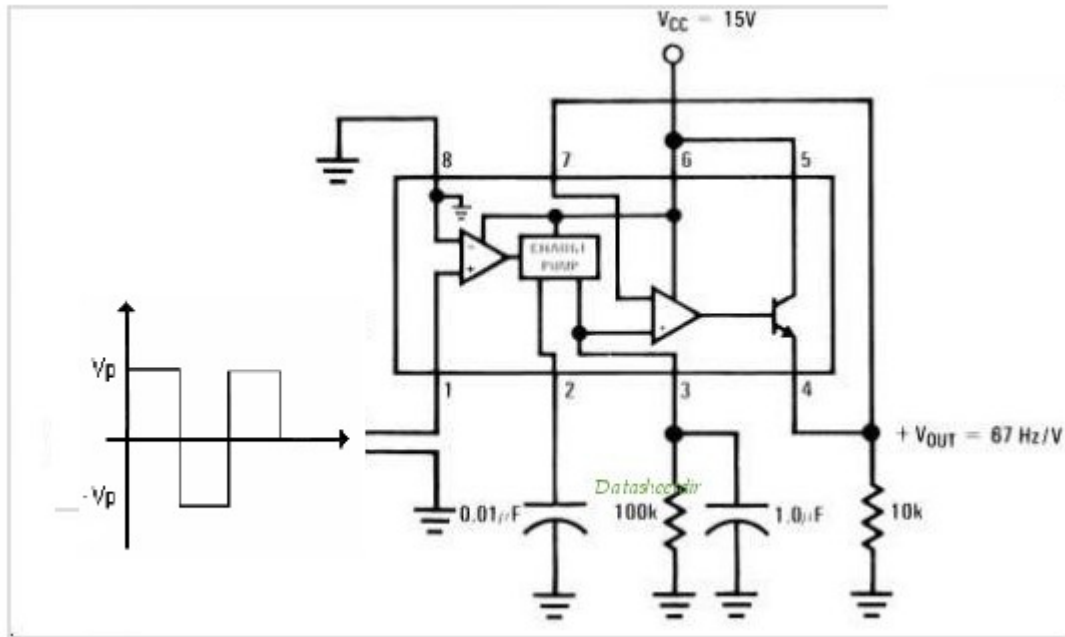
- Activación de cargas en el generador.
- Opciones de visualización del panel de control físico, voltaje, corriente e indicadores luminosos de proceso encendido y apagado.

### **2.3.1. Conversor de frecuencia a voltaje**

El LM2907 es un conversor de frecuencia a voltaje monolítico con un comparador/amplificador de alta ganancia. La primera etapa del LM2907 es un amplificador diferencial el cual maneja un flip-flop con realimentación positiva. El voltaje umbral de entrada es la cantidad de voltaje de entrada diferencial al cual cambia la salida de esta etapa.

Después de esta etapa de entrada viene la etapa de conversión de frecuencia a voltaje. Para hacer esto se necesita un capacitor que funcione como temporizador, Una resistencia de salida y un capacitor que funcione como filtro. El circuito completo se muestra en la figura 29.

**Figura 29.** Configuración IC LM2907N



Cuando salda de la primera etapa cambia de estado (debido a un cruce por cero o a un voltaje diferencial en la entrada), el capacitor temporizador está cargado o descargado linealmente entre dos voltajes cuya diferencia es  $V_{CC}/2$ .

En medio ciclo de la frecuencia de entrada o en un tiempo igual a  $\frac{1}{2}$  *fin* el cambio en la carga del capacitor temporizador es igual a  $(V_{CC}/2) \times C1$ . La cantidad de corriente promedio que entra o sale del capacitor es igual a:

$$\frac{\Delta Q}{T} = I_0(AVG) = C1 * \frac{V_{CC}}{2} * (2f_N) = V_{CC} * f_{IN} * C1$$

El circuito de salida refleja esta corriente en la resistencia de carga R1, conectada a tierra, de esta forma si los pulsos de corriente son integrados con un capacitor trabajando como filtro, entonces:  $V_o = I_{o} R_1$ , la ecuación queda así:

$$V_o = V_{CC} * f_{IN} * C1 * R1$$

Hay algunas limitaciones en la escogencia de R1 y C1 las cuales deben ser consideradas para el funcionamiento óptimo del circuito. C1 debe poseer un valor mayor a 500pf para mantener una buena precisión. Valores menores generan un error en la corriente calculada para R1. La corriente de salida del pin 3 está internamente fijada, por eso  $V_o/R_1$  debe ser menor o igual a este valor. Si el valor de R1 es muy grande puede llegar a ser una fracción significativa de la impedancia de salida en el pin 3 la cual disminuye linealmente. También se debe considerar el voltaje de rizado en la salida, donde el valor de C2 se ve afectado por R1. Una expresión que describe el rizado en el pin3 es:

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{CC}}{2} * \frac{C1}{C2} * \left( 1 - \frac{V_{CC} * f_{IN} * C1}{L_2} \right)$$

Aparentemente R1 puede ser escogida independientemente del rizado, sin embargo el tiempo que toma el voltaje de salida en estabilizarse en un nuevo valor, se incrementa al incrementar el valor de C2, así vemos que hay un compromiso entre el rizado, el tiempo de respuesta, y la linealidad.

Como una última consideración, la máxima frecuencia de entrada (plena escala) está determinada por Vcc, C1 y R1:

$$R_1 = \frac{V_{sal-max}}{C_1 * V_{CC} * f_{IN-max}}$$

Tomando como frecuencia máxima 540.54 Hz que corresponde a una velocidad de 1800 como se determino en la descripción del sensor.

Teniendo en cuenta que el voltaje máximo en la salida será de 10V y un Vcc =12V, hacemos C1=0.01uF para obtener un valor de R1=150KW. El rizado se en un valor de 0.06 V, de modo que C2 = 1uf.

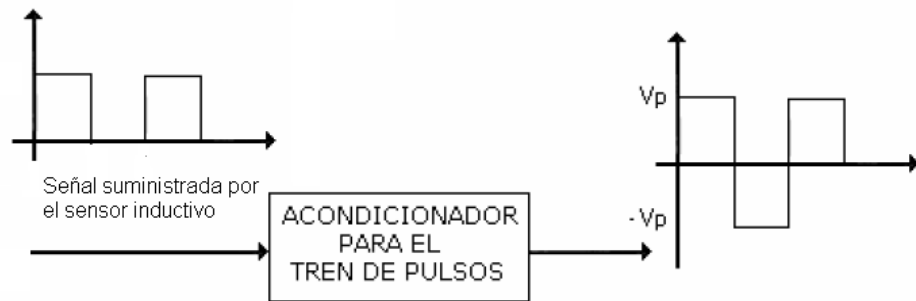
Por último se filtra la salida con un pasabajas de 16 Hz compuesto por R2 y C3. La frecuencia de corte en hertz será:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_3}$$

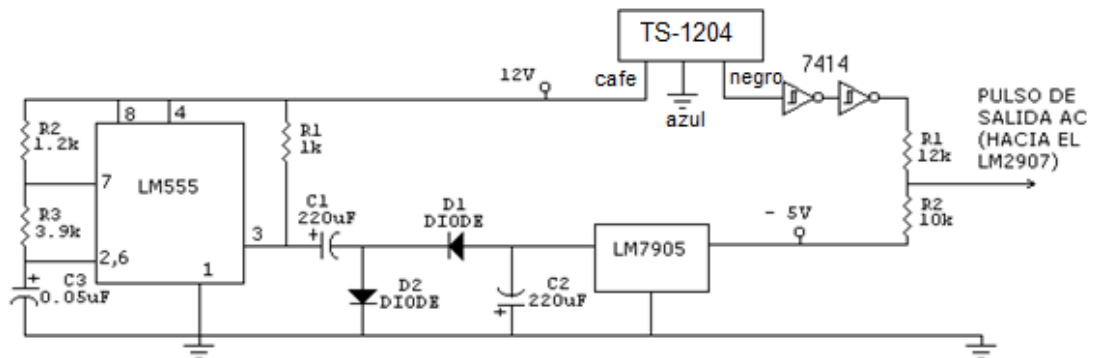
De este modo se escoge R2 = 10KW y C3 = 1uF.

Como la salida del sensor inductivo es una onda cuadrada DC es necesario implementar una etapa de adecuación de señal como se observa en la Figura 30, esta etapa consta básicamente de una referencia negativa de voltaje, un divisor de voltaje y dos compuertas inversoras tipo Schmitt (7414) que permiten reformar la señal proveniente del sensor inductivo y también sirve como buffer aislador de impedancia. El circuito completo se muestra a continuación en la Figura 31.

**Figura 30.** Forma de onda e/s acondicionador de señal del sensor.



**Figura 31.** Diagrama de conexión acondicionado señal de sensor



La señal adecuada es conectada a la entrada del convertidor de frecuencia a voltaje, la salida del conversor se conecta a la entrada análoga del PLC, entregándole niveles DC comprendidos entre 0 y 10 voltios. En la tabla 5 se muestran las pruebas realizadas al sensor de velocidad tomando como referencia los valores de velocidad tomados con el foto tacómetro y de Contacto LTDT-2236.

**Tabla 5.** Pruebas sensor de velocidad

Rpm LTDT-2236.	Rpm sensor	Voltaje sensor
<b>700</b>	700	3.7
<b>834</b>	835	4.5
<b>1020</b>	1022	5.5
<b>1311</b>	1313	7.0
<b>1535</b>	1537	8.4

### **2.3.2 .Diagrama Eléctrico.**

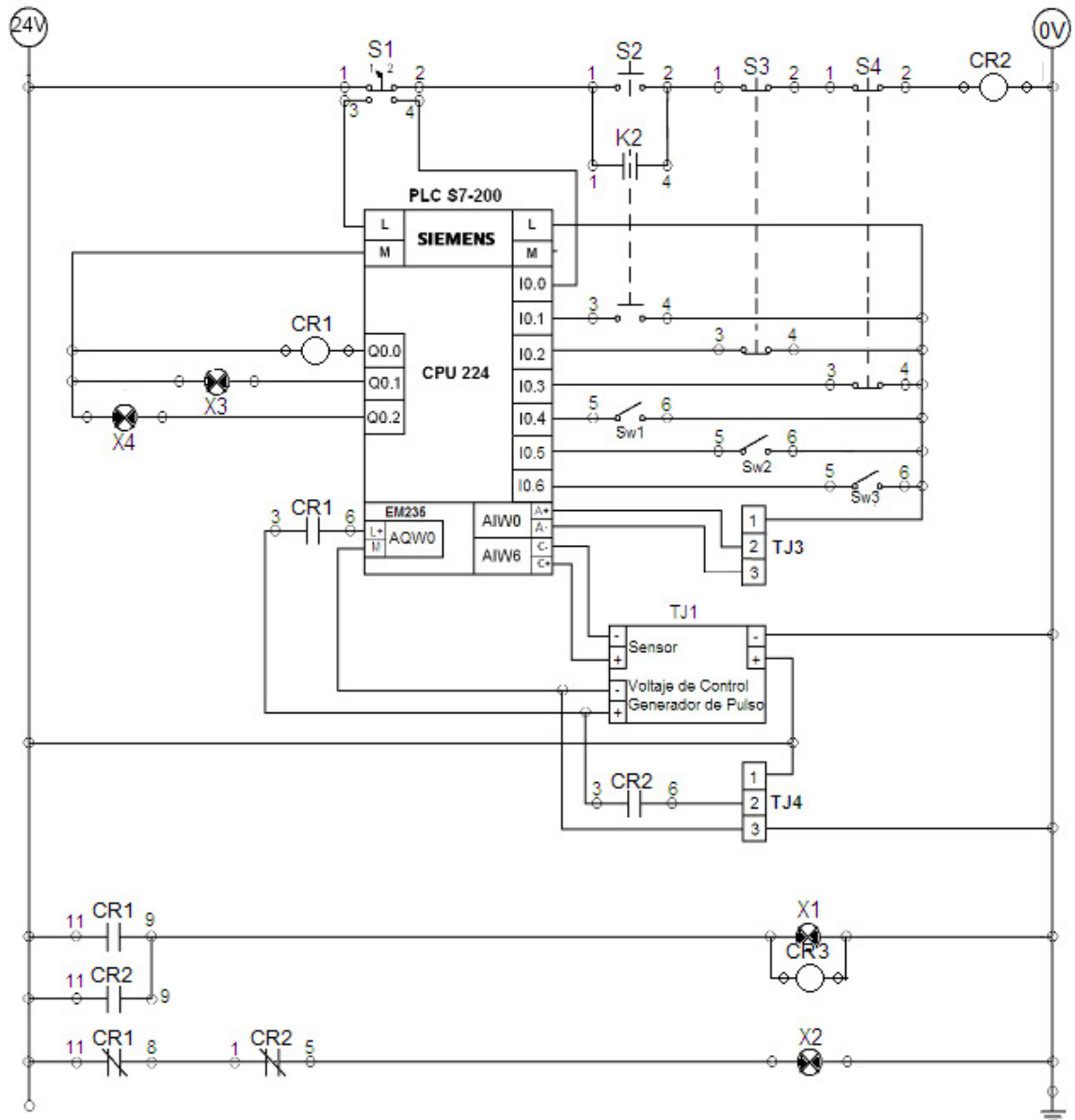
En la Figura 32 se muestra el diagrama de la etapa de control del proceso donde interactúan los elementos del panel de control, el PLC S7-200 y la tarjeta de control auxiliar Tj1 que contiene el generador de pulso, el circuito del convertidor de frecuencia a voltaje del sensor de velocidad y las tarjetas ganancia en modo manual y consigna de lazo para modo automático.

Cuando el selector S1 se encuentra entre 1 y 2 se selecciona el modo manual y cuando se encuentra entre 3 y 4 se activa el selecciona el modo automático, en modo manual, cuando pulsa S2 se activa CR2 manteniéndose retenido por un contacto NA del mismo y se desactiva cuando se pulsa S3 o S4, con la tarjeta Tj3 mientras este activo CR2 va a la tarjeta de control auxiliar a los pines del voltaje de control del generador de pulso.

Cuando se selecciona con S1 el modo automático el PLC S7-200, con el modulo de ampliación EM235 de acuerdo a su programación y teniendo en cuenta los estados de S2, S3, S4, SW1, SW2, SW3, la salida de los pines 2 y 3 de la tarjeta de consigna en modo automático, TJ3 y la salida del sensor, controla la activación de CR1, X3 y X4 y la salida AQW0 que mientras este activa CR1 va a los pines del control de voltaje del generador de pulso, el piloto X1 que indica que el proceso está encendido se energiza cuando esta activo CR1 o CR2 y también se activa

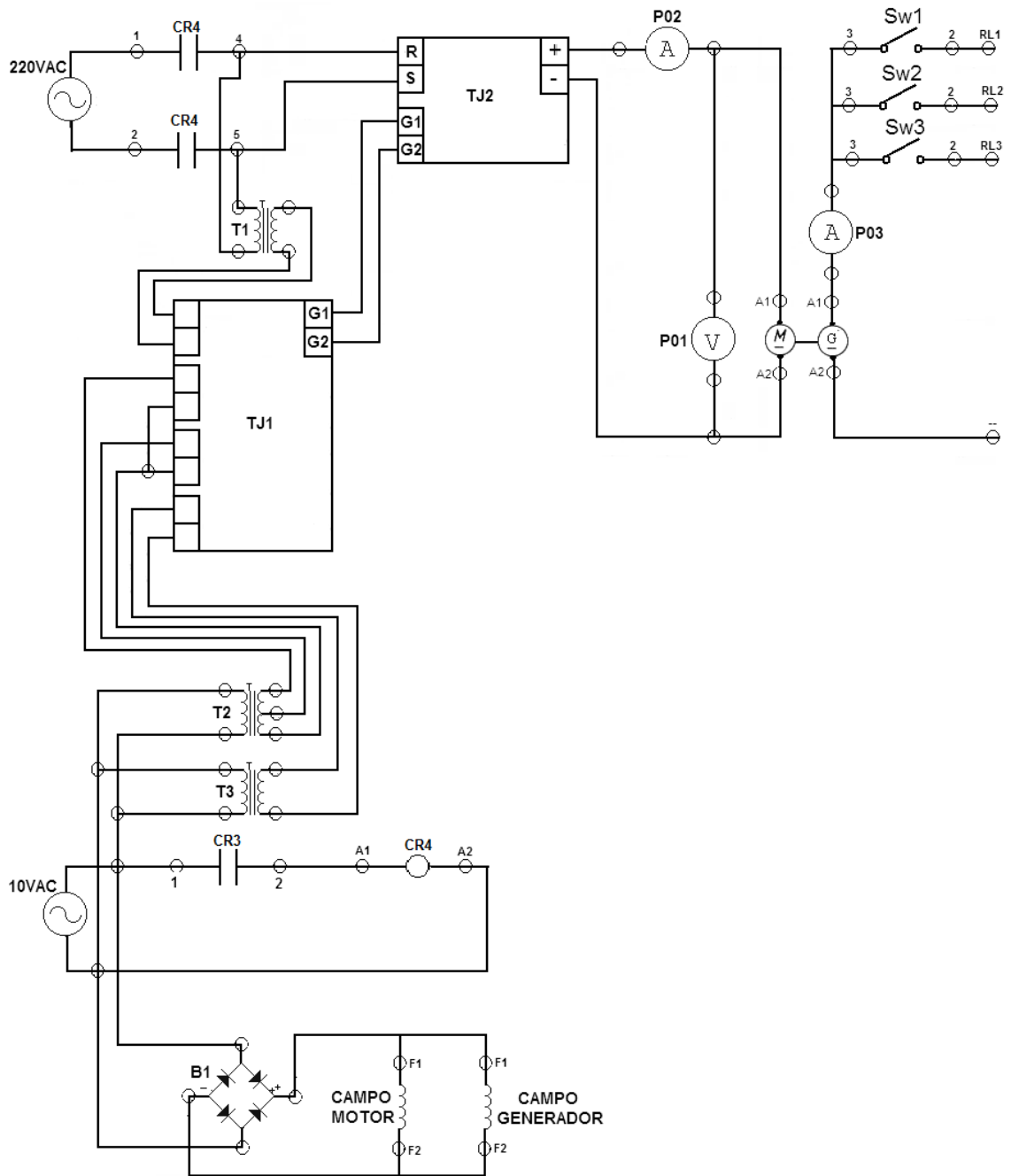
CR3, mientras que X2 está energizado cuando están desactivados CR1 y CR2 que indica el proceso se encuentra apagado.

**Figura 32.** Diagrama Eléctrico Control.





**Figura 33.** Diagrama Eléctrico fuerza.



La Figura 33 muestra el plano eléctrico de la etapa de potencia donde intervienen la tarjeta auxiliar de control TJ1 y la tarjeta de potencia TJ2 y elementos del panel de control.

El Contactor CR4 es activado con 110 voltios AC mientras CR3 este activo, CR4 permite la habilitación de los 220 VAC que van los pines R y S de la tarjeta de potencia y al transformador T1, la salida de T1 va a TJ1, al igual que las salidas de T2 y T3 que están conectados a 110 en bobinado primario, de TJ1 por los pines G1 y G2 va a la tarjeta de potencia, la salida + de TJ2 interrumpido por el amperímetro P02 va tanto al borne A1 del motor mientras que el A2 va a la salida – de TJ2, el voltímetro P1 se encuentra paralelo a la armadura del motor, el generador que esta acoplado mecánicamente al motor tiene la armadura conectada en su borne A1 a un amperímetro P3 y de este a los interruptores SW1, SW2 y Sw3, los arrollamiento de campo tanto del motor, como del generador van conectados a los terminales + y – del puente rectificador, que está conectado a 110 VAC.

**Tabla 6.** Símbolos plano eléctrico

SIMBOLO	DESCRIPCION
S1	Selector modo Manual/Automático
S2	Pulsador de inicio de proceso
S3	Pulsador de parada del proceso

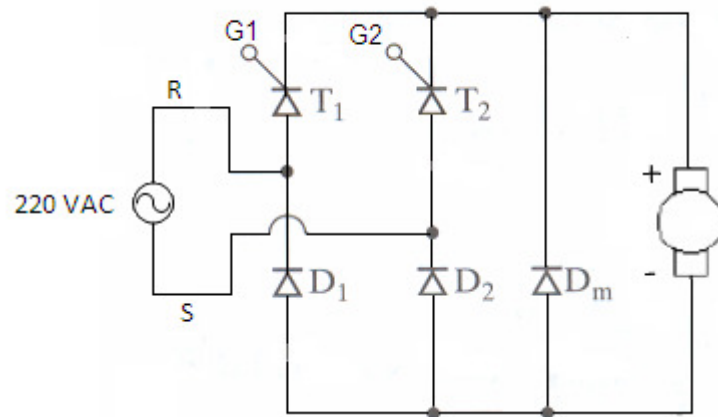
S4	Parada de emergencia
CR1	Relé modo automático
CR2	Relé modo manual
CR3	Relé de 24 voltios
CR4	Contactador de Potencia
PLC S7-200	S7-200 CPU 224 + modulo ampliación analógica EM235
SW1	Switch activación carga 1 generador
SW2	Switch activación carga 2 generador
SW3	Switch activación carga 3 generador
X1	Piloto proceso encendido
X2	Piloto proceso apagado
X3	Piloto alarma amarillo
X4	Piloto alarma azul
TJ1	Tarjeta de control auxiliar
TJ2	Tarjeta de potencia
TJ3	Tarjeta de consigna del lazo
TJ4	Tarjeta ganancia en modo manual (controla el voltaje armadura motor en modo manual)
P01	Voltímetro voltaje de armadura motor
P02	Amperímetro corriente de armadura motor
P03	Amperímetro corriente de armadura generador
RL1	Punto de conexión carga RL1

RL2	Punto de conexión carga RL2
RL3	Punto de conexión carga RL3
T1	Transformador de 220VAC a 24VAC
T2	Transformador de 110 VAC a 9VAC
T3	Transformador de 110 VAC a 24VAC, 12VAC
B1	Puente rectificador
M	Motor
G	Generador

### 2.3.3. Etapa de potencia

La etapa de potencia está compuesta básicamente por un generador de pulsos capaz de accionar los tiristores que se encuentran en un puente monofásico semicontrolado simétricamente, este puente es alimentado con un voltaje 220 VAC 60HZ con las fases R y S. como muestra el la Figura 34.

**Figura 34.** Diagrama Puente Monofásico Semicontrolado Simétricamente



A continuación se explicará el funcionamiento del puente monofásico semicontrolado simétricamente.

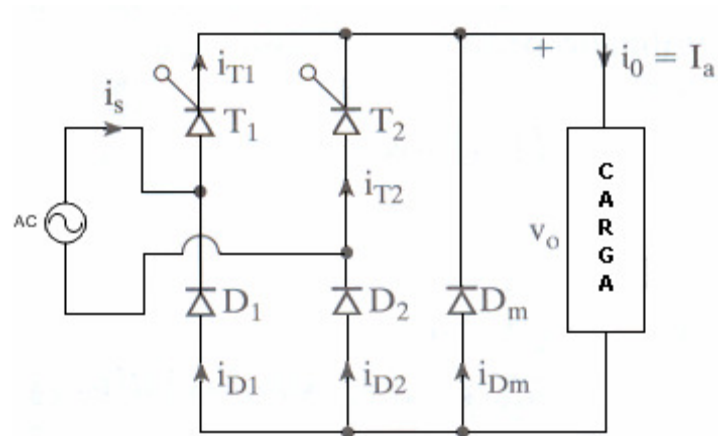
### **2.3.3.1 Puente Monofásico Semicontrolado simétricamente**

Los diodos rectificadores proporcionan sólo un voltaje de salida fijo. Para obtener voltajes de salida controlados, se usan tiristores con control de fase en lugar de diodos. El voltaje de salida de los rectificadores de tiristor se varía controlando el ángulo de retardo o de disparo. Estos rectificadores controlados por fase son sencillos y menos costosos, y su eficiencia es, por lo general, superior al 95%. Como convierten de corriente alterna a corriente directa, a estos rectificadores controlados se le llama también *convertidores AC-DC*.

El arreglo del circuito de un puente monofásico Semicontrolado simétricamente se ve en la Figura 35 con una carga altamente inductiva. La corriente de carga es continua. Durante el semiciclo positivo,  $T_1$  está polarizado directamente. Cuando  $T_1$  se dispara en  $\omega t = \alpha$ , la carga se conecta a la alimentación de entrada a través de  $T_1$  y  $D_2$  durante el período  $\alpha \leq \omega t \leq \pi$ . Durante el período  $\pi \leq t \leq (\pi + \alpha)$ , el voltaje de entrada es negativo y el diodo de libre circulación  $D_m$  (freewheel diode) tiene polarización directa, por lo que conduce para proporcionar la continuidad de corriente de la carga inductiva. La corriente de carga se transfiere de  $T_1$  y  $D_2$  a  $D_m$ , y el tiristor  $T_1$  y el diodo  $D_2$  se desactivan. Durante el semiciclo negativo del voltaje de entrada, el tiristor  $T_2$  queda con polarización directa y el disparo del tiristor  $T_2$  en  $\omega t = \pi + \alpha$  invierte la polarización de  $D_m$ . El diodo  $D_m$  se desactiva y la carga se conecta a la alimentación a través de  $T_2$  y  $D_1$ .

Durante los períodos  $0 \leq \omega t \leq \alpha$  y  $\pi \leq t \leq (\pi + \alpha)$  no está encendido ninguno de los tiristores por lo tanto no hay alimentación de entrada. Lo que sucede es que debido a la carga altamente inductiva, en ella se almacena energía y mientras no haya alimentación esta energía es descargada por medio del  $D_m$  que presenta polarización directa durante estos períodos, esto proporciona continuidad de corriente en la carga.

**Figura 35.** Circuito Puentes Monofásico Semicontrolado Simétricamente



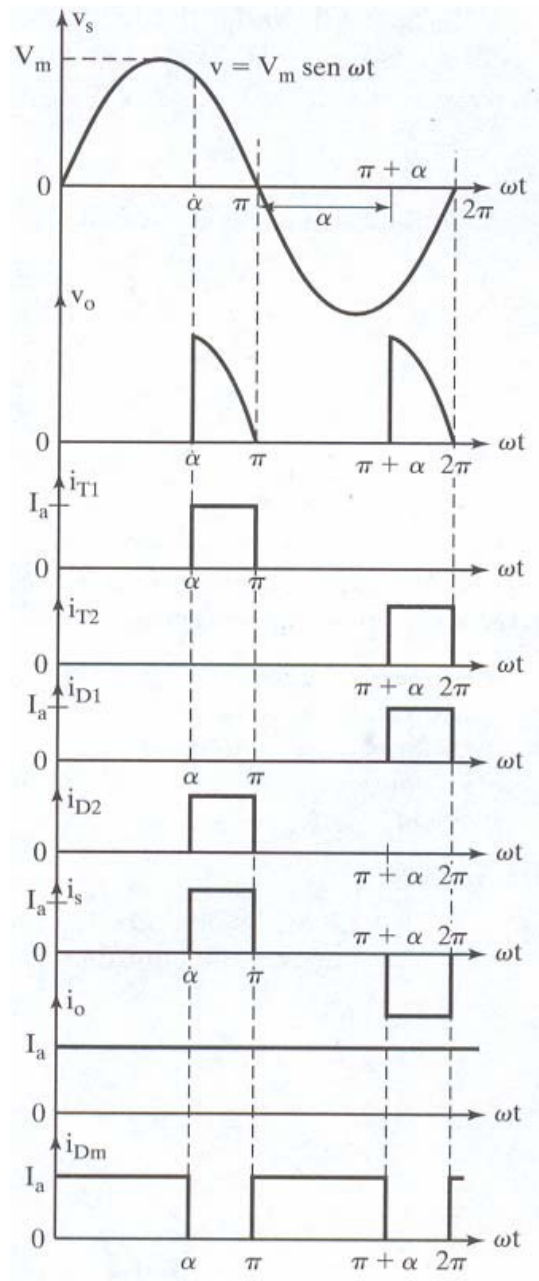
La Figura 36 muestra las formas de onda del voltaje de entrada y salida, las corrientes por  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ , corriente de entrada, corriente de salida y la corriente por  $D_m$ .

El voltaje promedio de salida se puede calcular con:

$$V_{DC} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{2}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha)$$

Y  $V_{DC}$  se puede variar desde  $2V_m/\pi$  hasta 0, variando  $\alpha$  de 0 a  $\pi$ .

**Figura 36.** Formas de onda de voltaje y corriente.





### 2.3.3.2 Diseño de la etapa de potencia

El objeto de esta sección es diseñar una etapa de potencia que permita alimentar los devanados de campo para el motor y el generador con un voltaje D.C fijo, mientras se varía el voltaje de armadura en el motor, con objeto de controlar así la velocidad. Los devanados de campo y armadura se identificaron midiendo sus respectivas resistencias sobre el motor y el generador. Los resultados obtenidos fueron:

**Tabla 7.** Resistencia para los devanados de campo y armadura

	<b>Resistencia devanado de</b>	<b>Resistencia devanado de</b>
	Armadura ( $\Omega$ )	Campo ( $\Omega$ )
<b>MOTOR</b>	1.8	445
<b>GENERADOR</b>	1.2	451

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla 7 contrastándolos con los datos mostrados en la tabla IV. Resistencia para los devanados de campo y armadura del trabajo “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL FUZZY DE VELOCIDAD PARA UN MOTOR DC DE POTENCIA” evidenciamos que los valores de resistencia del devanado de armadura han sufrido cambios significativos que pueden limitar el buen funcionamiento de las maquinas corriente continua.

Para determinar el consumo de potencia del par, se midió la corriente del motor mientras se introducían cargas de 100 Watt en el generador y se alimentaba los devanados de campo a un voltaje de 110V D.C y se introducía un voltaje en la armadura de 130 VDC con el fin de llevar el proceso a condiciones máximas de operación. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 8.** Consumo de potencia del par motor generador

Numero de cargas	Corriente (A)	Potencia (W)
1	1.8	189
2	3.8	296.4
3	4.8	393.6

De acuerdo a la corriente máxima obtenida y el voltaje de armadura utilizado en la prueba se seleccionan los SCR y los diodos a utilizar en la configuración del puente.

$$I_{tiristor} \geq I_{max} * FD(\text{factor de diseño})$$

$$V_{tiristor} \geq V_{max} * FD(\text{factor de diseño})$$

Se escoge un factor de diseño de 1,5 para asegurar el correcto funcionamiento del tiristor y los diodos.

$$I_{tiristor} \geq I_{max} * 1.5$$

$$I_{tiristor} \geq 4.8 * 1.5 = 7.2A$$

$$V_{tiristor} \geq V_{max} * 1.5$$

$$V_{tiristor} \geq 130 * 1.5 = 195$$

De acuerdo a esto se escoge un tiristor cuya corriente este por encima de 7.2 A y con un voltaje superior a 195 VDC, se selecciono el tiristor TYN 612 de 12 A, 600 voltios y los diodos 10A6 de 10 Amperios, 600 Voltios.

#### **2.3.4. Etapa de Control**

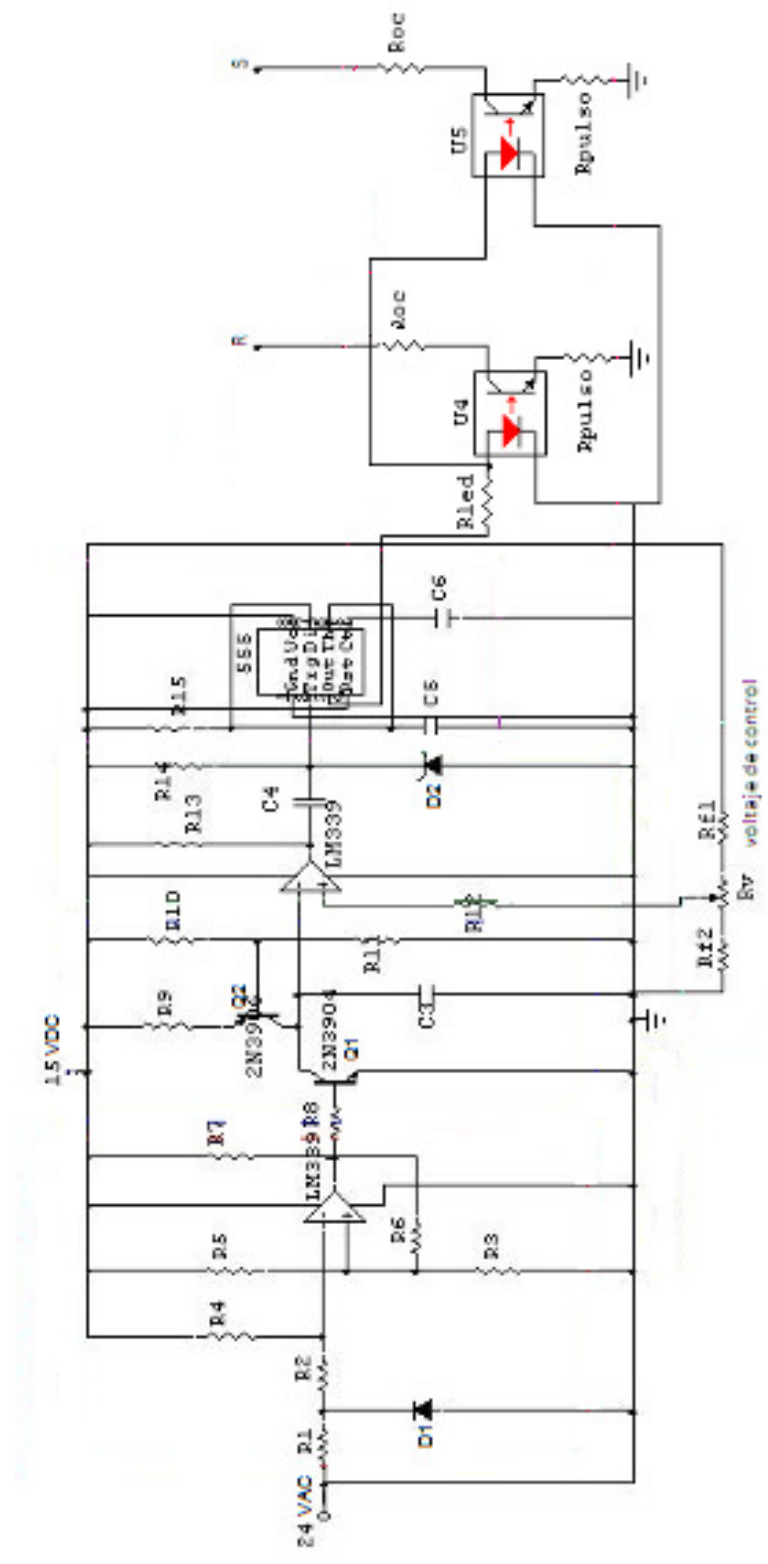
La filosofía de control de proceso consiste en conectar el motor con Excitación independiente, con el fin de mantener un voltaje constante en la bobina de campo y variar el voltaje en la armadura, y por consecuente variar la velocidad del GMG proporcionalmente. La velocidad del GMG es la variable del proceso y es la que nos interesa manipular variando el voltaje en el inducido. Esta variación se realiza determinando el ángulo de disparo para conducción de los tiristores del puente monofásico.

El controlador es de tipo PID será el encargado de recibir la señal entregada por el sensor de velocidad y el Set Point, procesarlo y establecer el valor del voltaje en la armadura y así llevar el GMG a el valor establecido en la consigna del proceso. En este proceso existirá un control de cargas en el cual el sistema mantendrá la velocidad estipulada y el voltaje deseado.

##### **2.3.4.1. Generador de Pulsos con Amplificador Operacional**

Existen varias formas de implementar un generador de pulso, utilizando UJT, PUT y JFET, amplificadores operacionales, a este último nos referimos y lo utilizaremos para la obtención de un pulso utilizando una configuración monoestable realizada por el temporizador LM555.

Figura 37. Generador de pulso con amplificador operacional



Este generador de pulsos se realizó implementando varias etapas, la primera de ellas es el circuito detector de cruce por cero la cual es la encargada de activar el circuito de disparo, la segunda etapa es el generador de rampa la cual, es la encargada de limitar el voltaje del pulso, este va de 0V a 15V, como tercera etapa esta el comparador, se encarga de enviar el pulso de disparo para que el circuito integrado (LM555) sea capaz de activarse y generar el pulso deseado, por último se encuentra la etapa generadora de pulso, esta es diseñada con base en el integrado temporizador Lm555 el cual trabaja en configuración mono estable; como interfaz entre controlador y dispositivos de potencia se emplean dos optoacopladores MOC3011, los valores de resistencia, capacitor y diodos se observan en la tabla 9.

**Tabla 9.** Valores elementos del generador de pulsos.

Símbolo	Valor
R <sub>1</sub>	5.1k $\Omega$
R <sub>2</sub>	5.1k $\Omega$
R <sub>3</sub>	100k $\Omega$
R <sub>4</sub>	100k $\Omega$
R <sub>5</sub>	10k $\Omega$
R <sub>6</sub>	10M $\Omega$
R <sub>7</sub>	2.2k $\Omega$
R <sub>8</sub>	10K $\Omega$
R <sub>9</sub>	6.7k $\Omega$
R <sub>10</sub>	12k $\Omega$
R <sub>11</sub>	3.66k $\Omega$ (ajustada con potenciómetro de 5k)
R <sub>12</sub>	2.2k $\Omega$
R <sub>13</sub>	22k $\Omega$
R <sub>14</sub>	3.88k $\Omega$ (ajustada con potenciómetro de 5k)
R <sub>15</sub>	22k $\Omega$
R <sub>v</sub>	Potenciómetro 10K $\Omega$
R <sub>led</sub>	330 $\Omega$
R <sub>ROC</sub>	150 $\Omega$

R <sub>pulso</sub>	220Ω
R <sub>f1</sub>	22k
R <sub>f2</sub>	1.5Ω .
C <sub>3</sub>	1.05μF – 50V
C <sub>4</sub>	81nF (cerámico)
C <sub>5</sub>	0.99μF – 50V
C <sub>6</sub>	11nF (cerámico)
D <sub>1</sub>	1N4934
D <sub>2</sub>	1N4744
Q <sub>1</sub>	2N3904
Q <sub>2</sub>	2N3906

### 2.3.4.2. Control de cargas del generador

Siguiendo el principio de la maquina eléctricas de corriente continua, el generador debe ser excitado para que este pueda generar, por lo que el voltaje suministrado en el inductor será un voltaje constante para establecer un relación proporcional entre la velocidad del GMG y el voltaje en la bobina de armadura del generador.

Para obtener varios niveles de carga en el generador, se dispone de un conjunto de 3 cargas de 100 watt cada una, este se realiza para observar el comportamiento del GMG ante diferentes valores de carga en el generador. El control de estas carga se realizara de forma manual, es decir, el operador de la planta decide cuando activar estas cargas.

### 2.4. Modo automático

En este modo de operación el PLC S7-200 ejecuta la acción de control del GMG, para este caso se podrá ingresar el valor de de referencia de manera local (Panel

de control) o remota (HMI), el dispositivo se encontrara en constate comunicaci3n con el computador mediante el cable PPI (USB/RS485).

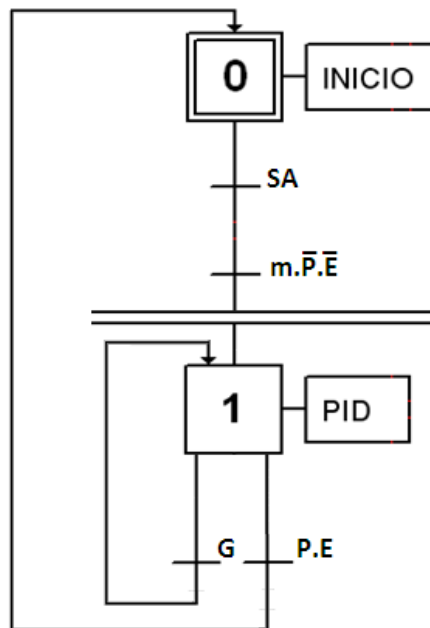
Se utilizo el software OPC SIMATIC S7-200 PC Access para lograr la comunicaci3n de las variables de control entre el PLC y el software WinnCC Flexible para crear el panel HMI (Human Machine Interface).

#### **2.4.1. GRAFECT**

En la programaci3n del PLC S7-200 se utiliz3 la metodolog3a GRAFCET (Figura 31.), que permite describir el proceso a automatizar, contemplando entradas, acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones.

En este caso el programa realizado no contempla gran magnitud, este contiene una etapa inicial en la cual empieza el proceso, la transici3n SA indica el selector en estado autom3tico y la transici3n m indica que este debi3 ser presionado y la negaci3n de P y negaci3n de E, indican que este pulsador de parada y de emergencia no deben estar presionados, si esta condici3n no es ejecutada no pasa al siguiente estado.

**Figura 38.** GRAFCET del GMG



Se ejecuta una sola y única acción de control PID sobre el lazo a controlar para todo el sistema, las transiciones finales es la señal de control enviada al generador de pulso para ejercer la acción de control adecuada sobre el generador de pulso G; sí P o E es presionado en cualquier momento del ciclo, se realizará la transición hacia la etapa inicial en la cual el proceso no realiza acción de control.

#### **2.4.2. Programación del PLC**

El lenguaje utilizado para la programación de PLC S7 200 usado es Ladder o lenguaje de contactos, en la programación realizada se tuvo en cuenta los componentes físicos, del panel de control y los utilizados para la ejecución del sistema supervisorio.



Para realizar la programación se definieron las variables principales a utilizar en el programa para una mejor lectura del mismo, estas se encuentran en la tabla 10.

**Tabla 10.** Definición de variables principales

<b>SIMBOLO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>COMENTARIO</b>
selector	I0.0	Selector manual/Automático
encender	I0.1	Activar el proceso (Start)
parar	I0.2	Detener todo el proceso
par_emergencia	I0.3	Detener el proceso en caso de fallas
sw_1	I0.4	Carga 1 activa
sw_2	I0.5	Carga 2 activa
sw_3	I0.6	Carga 3 activa
sensor	AIW0	Sensor Inductivo de proximidad
set_point	AIW4	Consigna enviada desde WinCC Flexible
alta_vel	M0.2	Indica alarma de alta velocidad
baja_velo	M0.3	Indica alarma de baja velocidad
i_supervisorio	M1.0	Activar el proceso desde WinCC Flexible
p_supervisorio	M1.1	Parar el proceso desde WinCC Flexible
rl1	M1.2	Carga 1 activa para el HMI (Wincc)
rl2	M1.3	Carga 2 activa para el HMI (Wincc)
rl3	M1.4	Carga 3 activa para el HMI (Wincc)

ledoff	M1.7	Piloto estado apagado del proceso en WinCC
proceso_on	Q0.0	Activa Relé Electromecánico de 24 VDC
alarma	Q0.1	Activa piloto de alarma del panel de control
setpoint_esc	VD250	Ajustar consigna desde el panel de control

A continuación se explica cada Segmento (Network) de la programación utilizada en MicroWin 4.0:

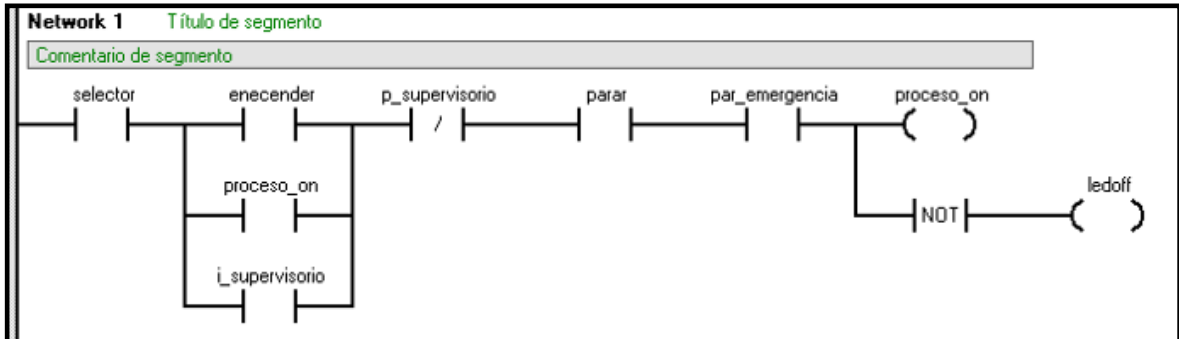
### **Activación del sistema y de los pilotos**

**Network 1:** se encuentran los contactos que habilita el relé electromecánico de 24 V DC y al resto de variables del proceso de control, el principal contacto llamado “selector” es el que proporciona la condición de modo automático, en este segmento se relaciona tanto los contactos controlados desde el panel local como desde el panel remoto Wincc.

La ejecución del programa para el panel de operación manual es la siguiente:

Dado que el selector se encuentra en automático existe una sola posibilidad de accionarlo mediante contacto “encender” este contacto energiza el contacto normalmente cerrado “p\_supervisorio” y a su vez el “parar” el cual es un contacto Abierto (NA) pero físicamente es un contacto cerrado (NC), es decir este siempre se encuentra activo, al igual que la parada de emergencia “par\_emergencia”, de esta manera se activa la bobina relé “proceso\_on”, dejando energizado toda la secuencia.

Para detener la ejecución del programa, se abre el contacto “parar”, al presionar el pulsador físico de parada (rojo) se desactiva la bobina del relé.



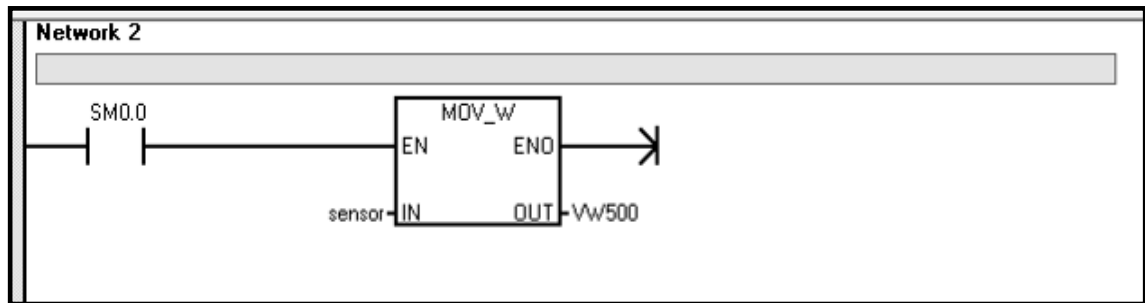
Ejecución desde el panel remoto (WinCC):

La acción de marcha esta dada por el contacto “i\_supervisorio” que energiza los contactos “p\_supervisorio”, “parar” y “par\_emergencia”. La acción de parada se realiza cuando el contacto “p\_supervisorio” cambia de estado de NC a NA, desde WinCC.

Cuando la bobina del relé esta activa se encenderá el piloto verde del sistema supervisorio, y si se encuentra activa la bobina “ledoff” se encenderá el piloto rojo del panel remoto.

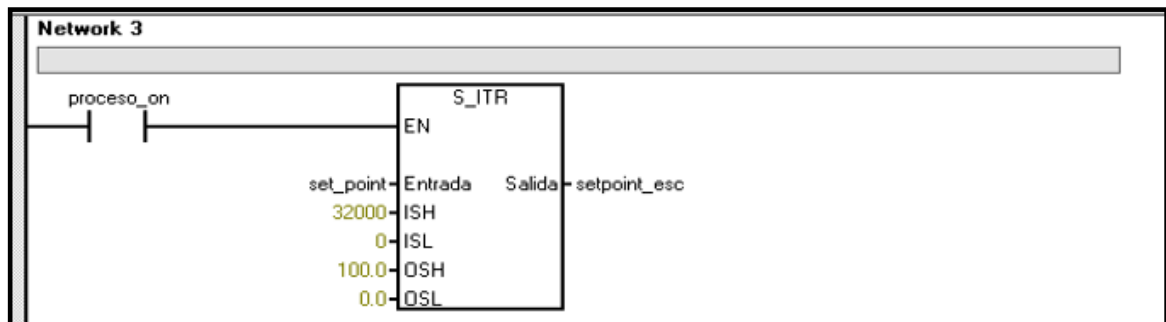
### Mover variable Sensor

**Network 2:** En este segmento se mueve la variable sensor (AIw0) hacia una palabra la VW500, esta será usada en la entrada del bloque PID.



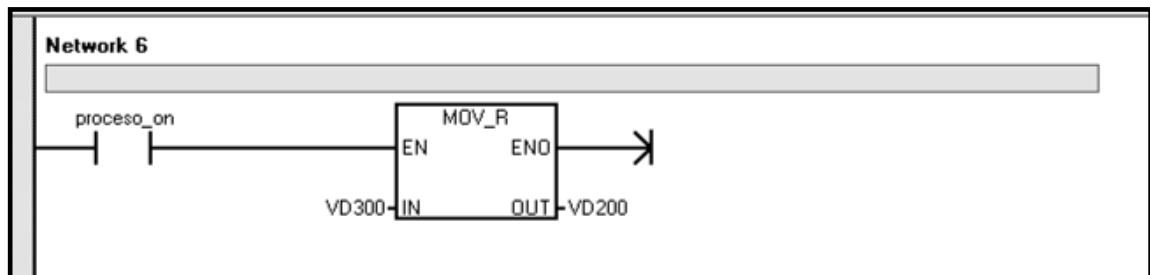
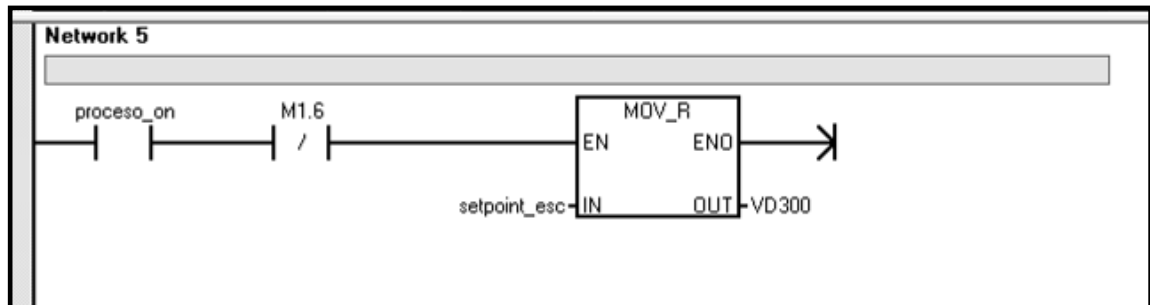
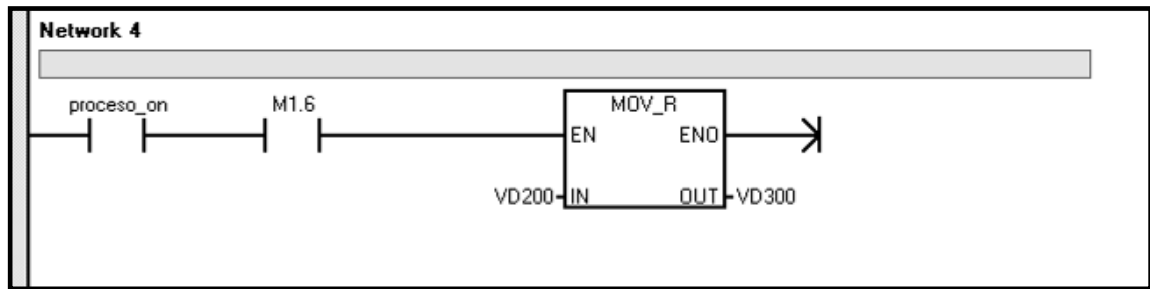
**Ejecutar subrutina S\_ITR:** Escalar de entero a real Set Point.

**Network 3:** se escala la entrada de la consigna del panel de control físico (de 0 a 32000 A de 0.0 a 100.0) para poder realizar la conmutación con la consigna del HMI; la subrutina S\_ITR se explicara más adelante.



### Escoge Set Point Local-Remota

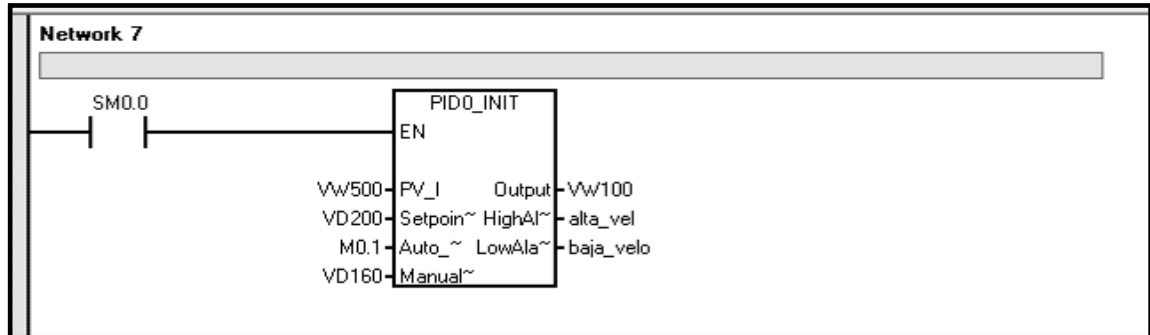
**Network 4 ,5 y 6:** para estos segmentos se realiza la siguiente acción, en el network 4 se habilita el proceso para que la variable VD200 se mueva a VD300, si está activa la marca 1.6 (desde el HMI) se escoge consigna remota, si no se ejecuta el network 5 escogiendo como consigna la que se encuentra en el panel físico y se mueve la variable setpoint\_esc hacia VD300. Para el último, el 6 segmento se mueve la variable VD300 a VD200 (variable proceso\_on activa), dado que esta es la utilizada en el PID.



## Iniciación del PID

**Network 7:** el programa llama a la subrutina 'PID0\_INIT' en cada ciclo de programa, dado que la marca SM0.0 siempre se encontrara activa desde el primer ciclo del programa.

Los parámetros fijados son: PV\_I: se refiere a la entrada analógica del autómeta que se utiliza para leer los datos del proceso (en este caso, la entrada A+, A-). Se eligió la entrada AIW0. Output: se refiere a la salida analógica del autómeta que se

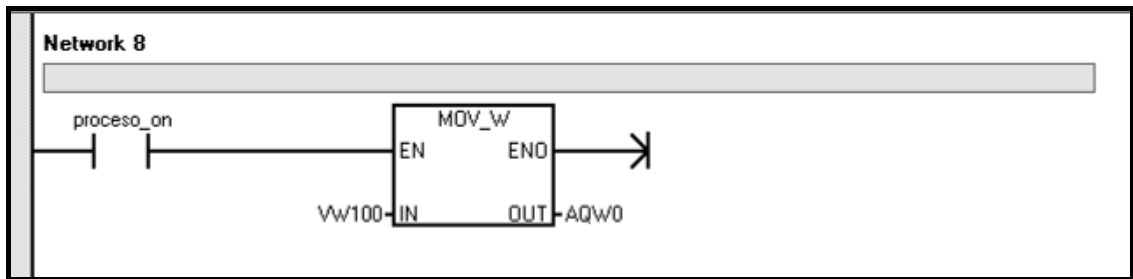


utilizará para enviar órdenes o acciones de control al proceso, estas ejercerán acción sobre el generador de pulso para disparar los tiristores en la etapa de potencia, Se eligió la salida VW100 la cual es movida hacia AQW0 para poder efectuarse la acción.

Set Point: se refiere a la posición de memoria donde se indicarán las referencias para las Rpm del GMG (Valores de rpm están entre 600 y 1200). Se indica la posición de memoria VD200, Auto: se activa con el bit M0.1 y Manual: ejerce el control en un rango de 0.0 a 1.0, asignada a la variable Real VD160, HighAl: indica si existe alta velocidad (M0.2), y LowAla: si existe baja velocidad (M0.3).

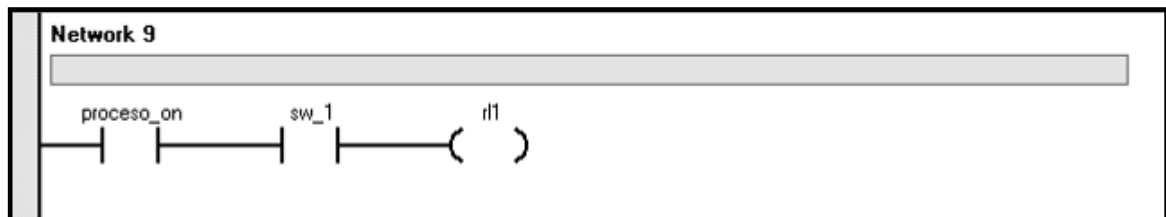
### **Mover Variable**

**Network 8:** En este segmento se mueve la VW100 la cual proviene de la salida del PID para ejercer la acción de control a AQW0 física del PLC, fue necesario realizar esta operación dado que el sistema no veía el valor en la salida.



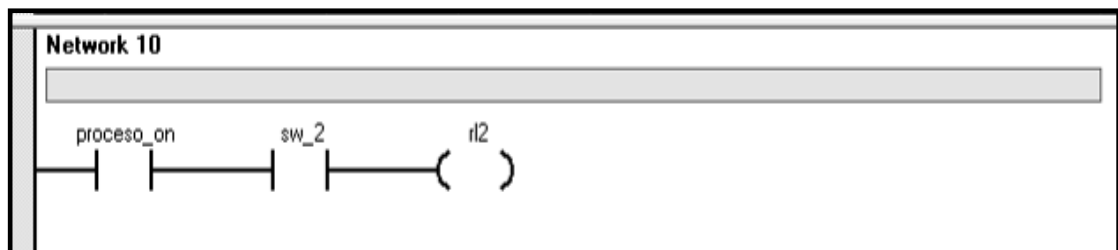
### Activa Carga 1 (100 Watt)

**Network 9:** Si el proceso está activo y se activa la primera carga (sw\_1) en el panel de control esta se verá reflejada como activa (rl1) en el HMI de WinCC Flexible.



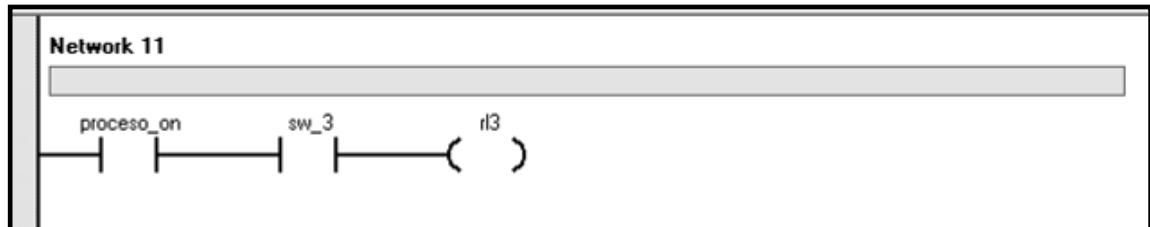
### Activa Carga 2 (100 Watt)

**Network 10:** igual al segmento anterior si proceso está activo y se activa la segunda carga (sw\_2) en el panel de control esta se verá reflejada como activa (rl2) en el HMI.



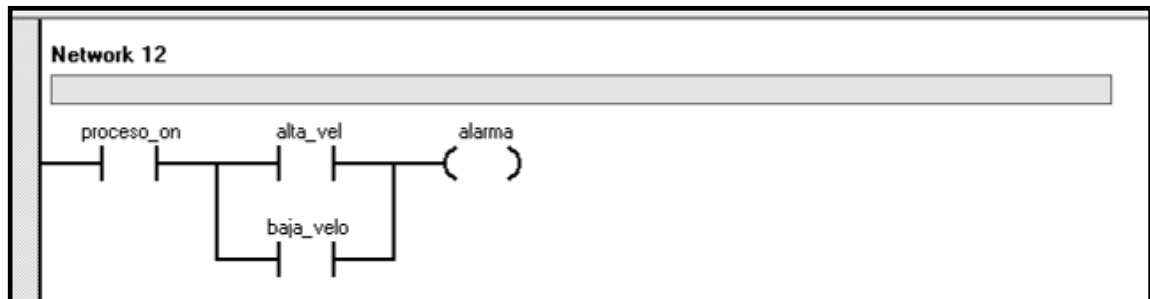
### Activa Carga 3 (100 Watt)

**Network 11:** en este segmento al igual que los anteriores todo ocurre igual solo que se activara la carga 3 (sw\_3) y se verá reflejado en el HMI (rl2).



### Activa alarma de estados

**Network 12:** Si existe una alarma ya sea por alta (M0.2) o baja (M0.3) velocidad esta activara el bombillo amarillo indicando alarma (Q0.1).



### Subrutinas del Programa Principal

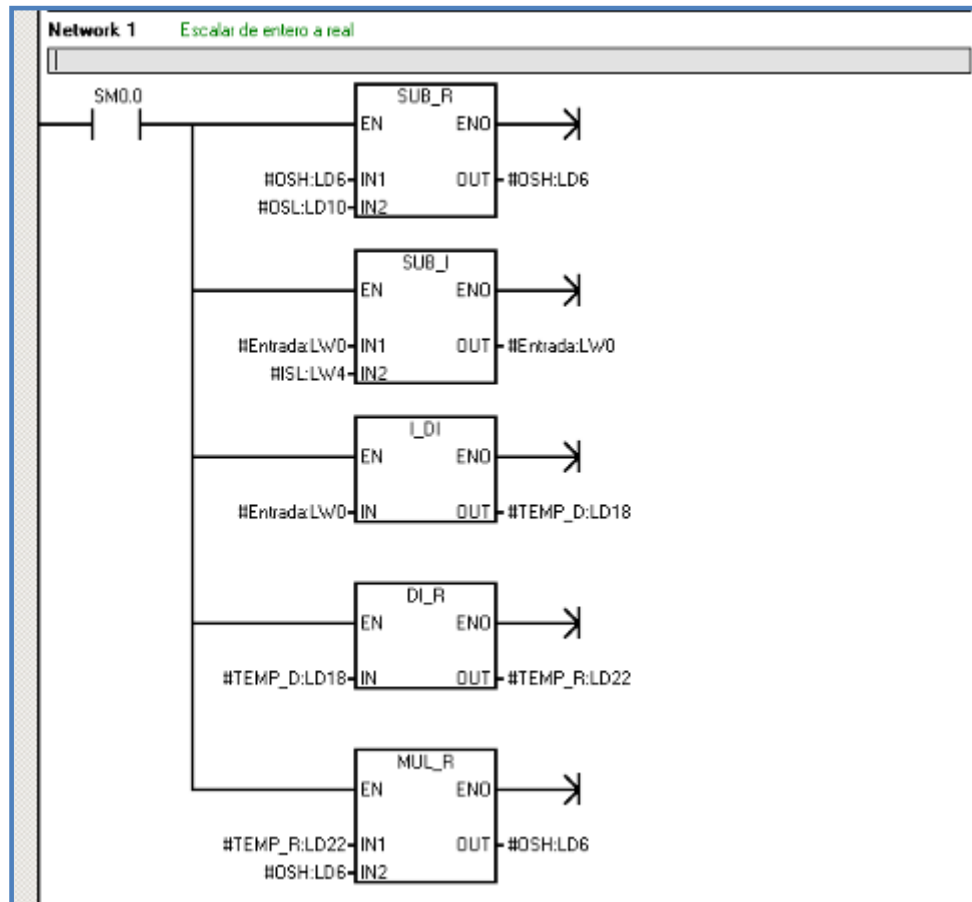
*Subrutina S\_ITR:* Escalar de entero a real, *La programación realizada fue tomada de los ejemplos dados por siemens en su página web<sup>1</sup>.*

**Network 1:** El escalado se efectúa leyendo los valores transferidos del programa principal: la entrada en sí, el límite superior de la escala para el valor de entrada (ISH), el límite inferior de la escala para el valor de entrada (ISL), el límite superior

<sup>1</sup> Extraído de: SIMATIC Ejemplos S7-200 (Tips & Tricks)  
[http://www.automation.siemens.com/microset/html\\_76/support/tipps/index.htm](http://www.automation.siemens.com/microset/html_76/support/tipps/index.htm)

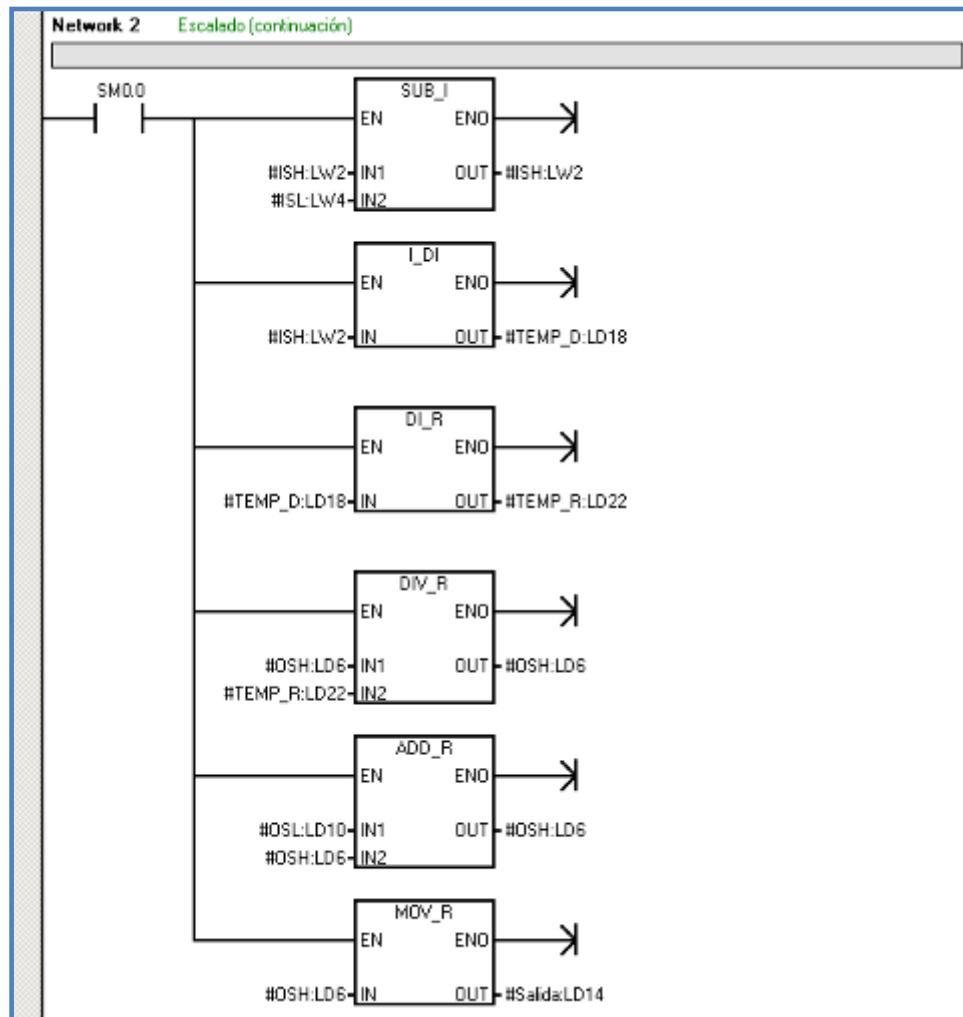


de la escala para el valor de salida (OSH) y el límite inferior de la escala para el valor de salida (OSL).



**Network 2:** El siguiente paso consiste en determinar el rango de escalado de la salida, restando para ello OSL de OSH. La entrada se desescala restando ISL de ella y convirtiéndola luego a un entero doble, para convertirla por último a un valor real. El valor real de la entrada se multiplica luego por el rango de salida.

En el siguiente paso, ISL se resta de ISH para determinar el rango de escalado de la entrada. Éste se convierte a un entero doble y, finalmente, a un valor real.



A continuación, el rango de salida se divide por la entrada desescalada para determinar el valor de salida final. Para que este último se pueda transmitir de nuevo al programa principal, el valor de salida final se transfiere a la variable local de salida, desde donde se retorna.

La fórmula es la siguiente:  $Ov = [(Osh - Osl) * (Iv - Isl) / (Ish - Isl)] + Osl$

Ov = valor de salida escalado

Iv = valor de entrada analógico

- Osh = límite superior de la escala para el valor de salida escalado
- Osl = límite inferior de la escala para el valor de salida escalado
- Ish = límite superior de la escala para el valor de entrada analógico
- Isl = límite inferior de la escala para el valor de entrada analógico

### **2.4.3. Configuración del PID**

El programa de control PID debe realizar las siguientes operaciones:

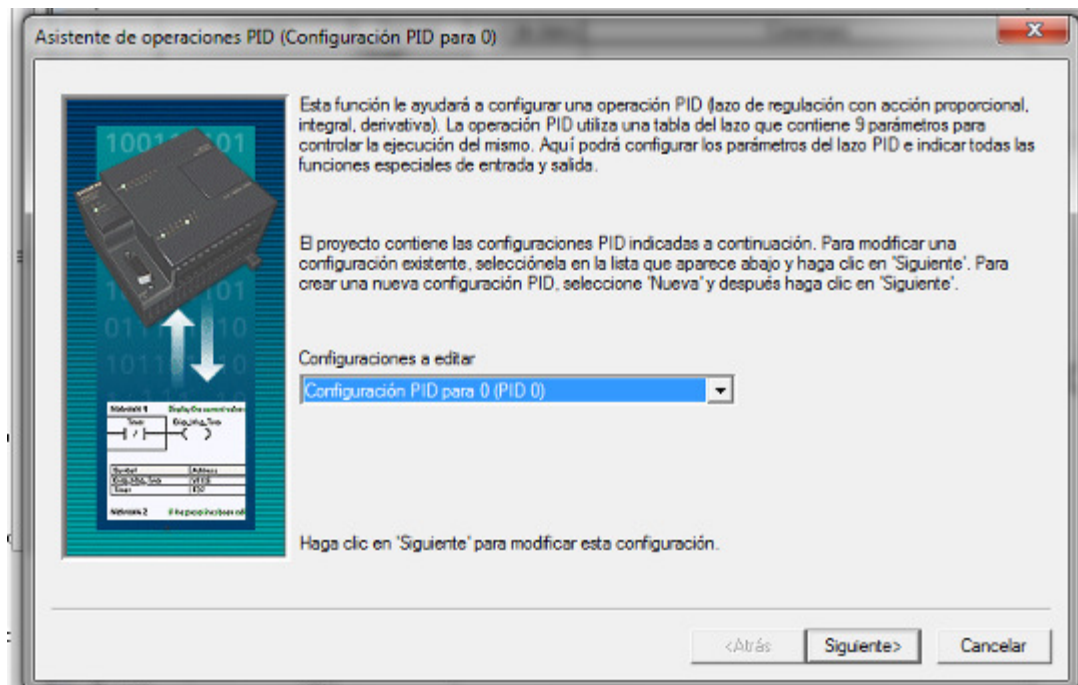
- a. Leer de la entrada analógica, el valor de la señal que se desea controlar (las revoluciones del generador).
- b. Comparar esta medida con la referencia (nivel deseado) y obtener el error como resta de los dos valores.
- c. Aplicar el algoritmo de control PID al error, calculando los efectos proporcionales, diferencial (derivada del error) e integral (integral del error).
- d. Escribir en la salida analógica el resultado calculado.

Tratando de un programa complejo, pero, gracias a el Software Step 7 MicroWin 4.0 el cual ofrece un asistente que permite generar el programa especificando únicamente los ajustes deseados: fundamentalmente el periodo de muestreo y valores de las constantes proporcional, integral y diferencial.

A continuación se explica paso a paso la utilización del asistente:

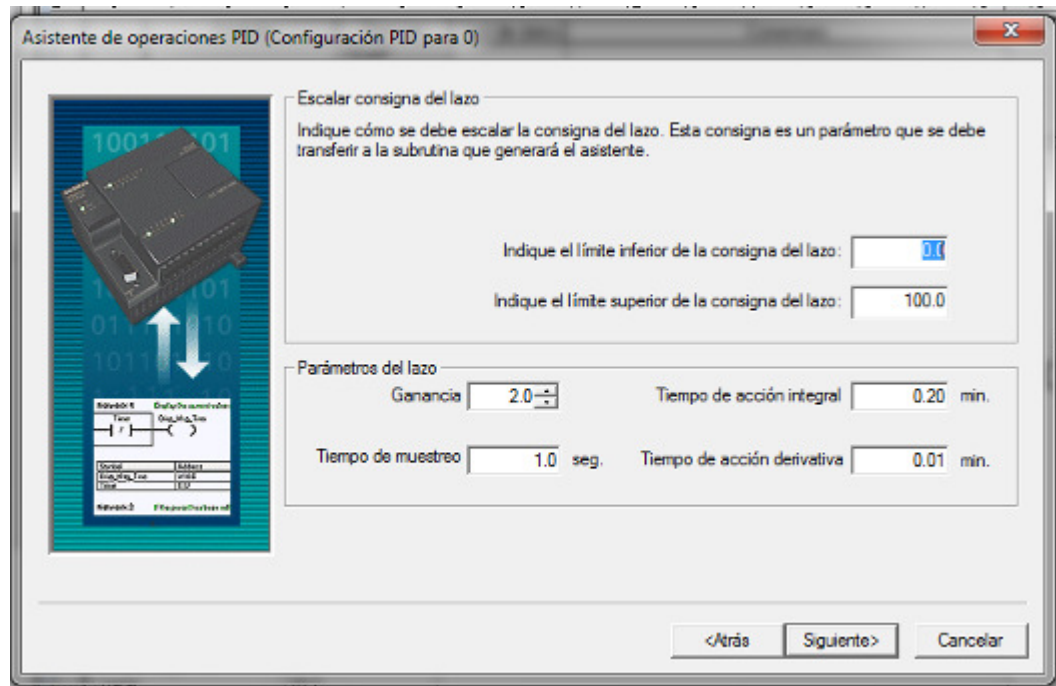
- a. En el menú Herramientas, elegiremos la opción 'Asistente de operaciones'.

- b. Dentro de los programas que permite generar el asistente, elegiremos 'PID' y pulsaremos Siguiente.
- c. Aparecerá la ventana siguiente en la que se pregunta por el lazo PID a configurar (el autómatas puede manejar varios lazos PID simultáneamente). Se configurara para el lazo 0 de control.



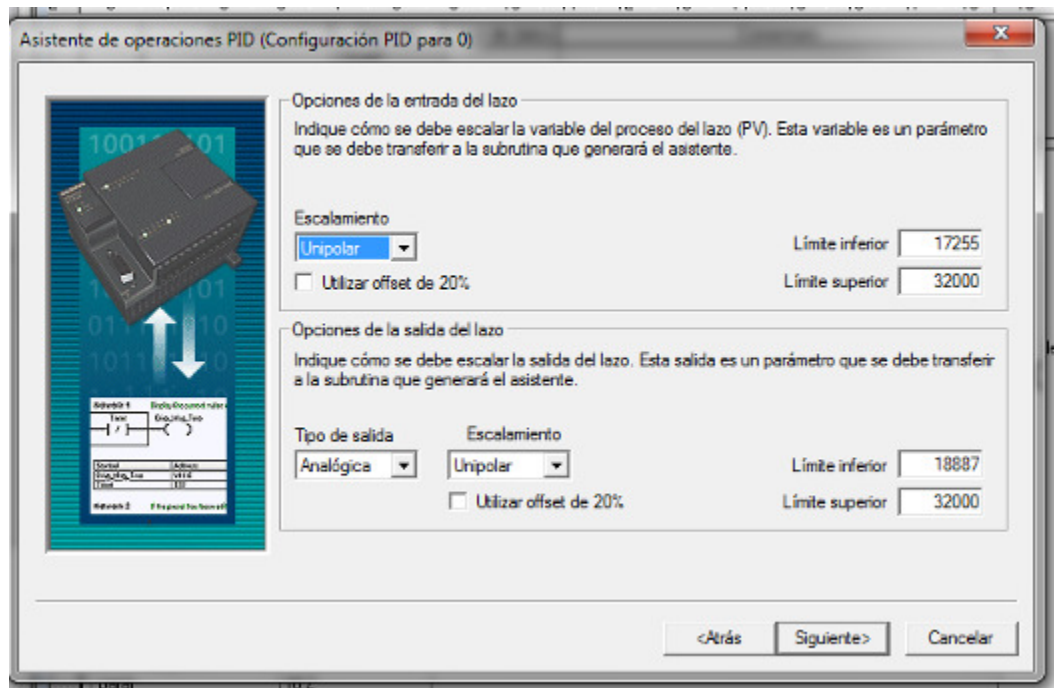
n la siguiente ventana se requerirán diversos datos para la configuración del controlador:

- e. Los límites inferior y superior de la consigna del lazo se indican la ventana siguiente, eligiendo como valor máximo 100.0 y valor mínimo 0.



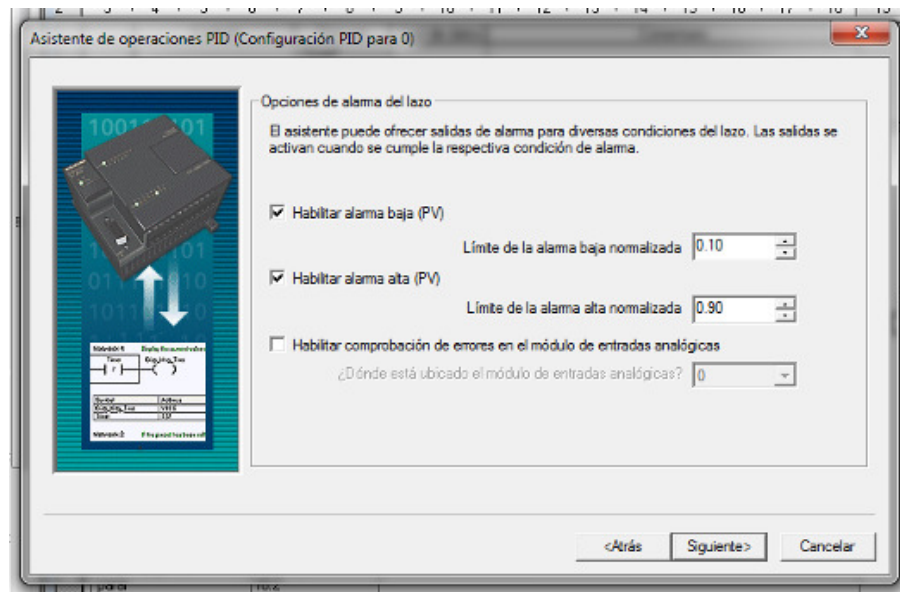
Los parámetros seleccionados para el lazo de control se extrajeron de la herramienta autosintonía PID, proporcionado por el programa Step 7 MicroWin 4.0; a manera de ensayo y error.

- f. Después de indicados los parámetros de consigna del lazo, se pulsa siguiente, aparecerá otra ventana en la cual se introducen los datos de entrada y salida del autómeta que se utilizan para el control y su configuración.



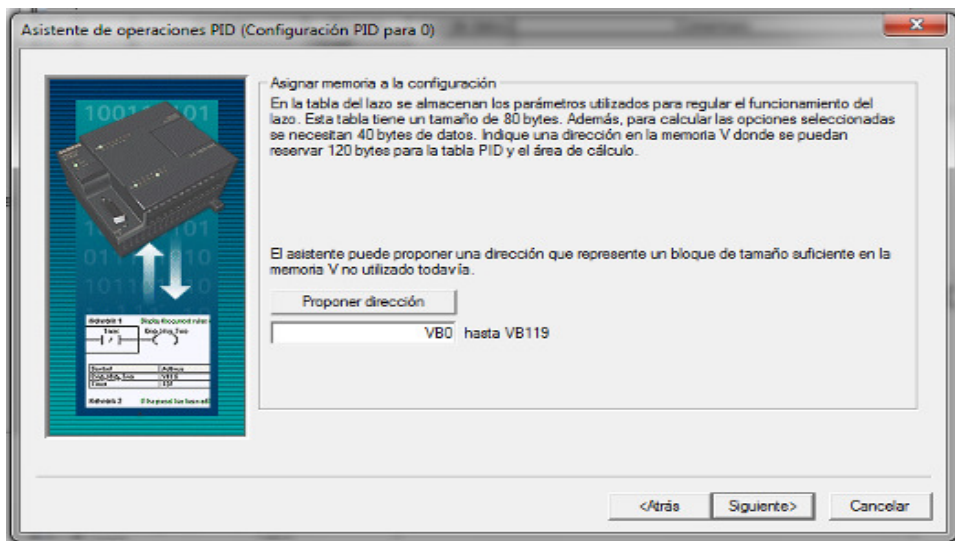
El límite inferior para la entrada del lazo (sensor), es limitado dado que esta es la revolución (rpm) mínima a la cual trabajara el GMG. Para las opciones de salida del lazo se escoge de tipo analógica y unipolar, en la cual se restringirá el límite inferior dado que este será el valor de arranque mínimo para el GMG.

- g. Luego se habilita la opción de alarma del lazo para indicar si existe alta o baja revolución del sistema GMG.

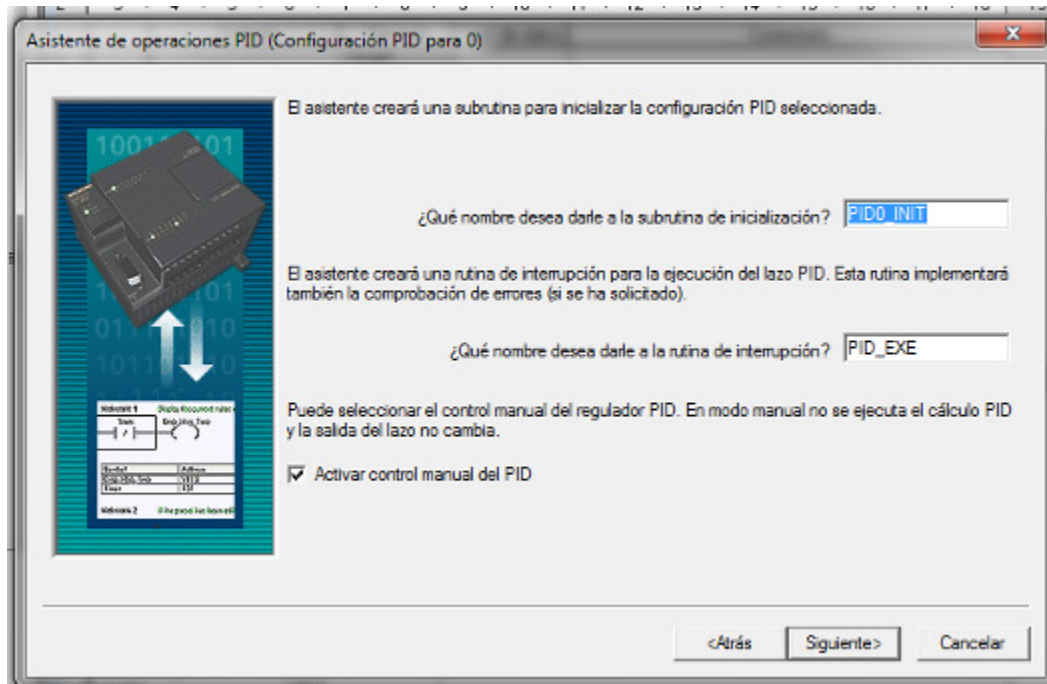


h. Aparecerá una ventana en la que se solicitan dos datos: el primero de ellos se refiere al área de memoria que utilizará el programa para realizar cálculos.

dejaremos el valor por defecto que aparece en el asistente: VB0 hasta VB119.



- i. En la siguiente ventana se realiza la activación del control manual del PID. Para esto se manejarán dos opciones automático-manual dentro del programa HMI de WinCC Flexible, escogiendo una entrada escalón o ejecutando la acción de PID.



- j. El nombre para llamar la subrutina es "PID0\_INT" para el lazo de control y como rutina de interrupción PID\_EXE



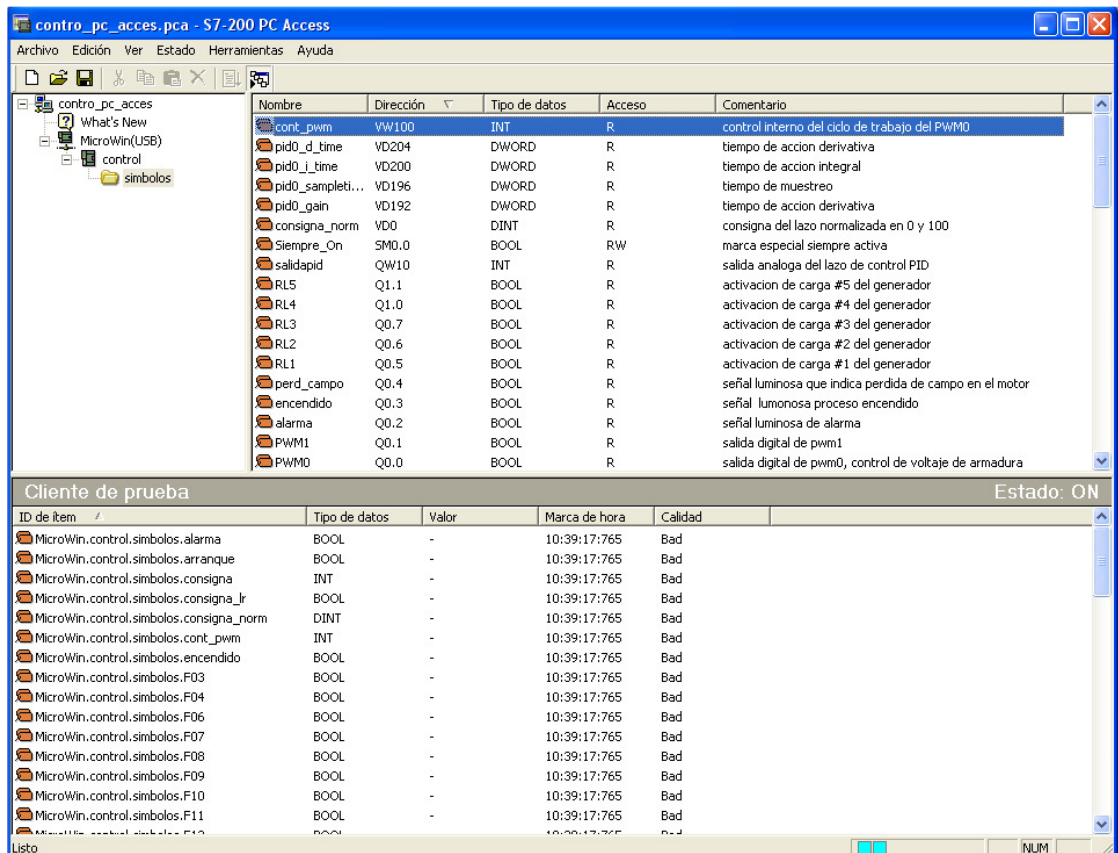
### **3. DISEÑO DEL SUPERVISORIO**

El sistema de supervisión se desarrollo en el software SIMATIC WinCC flexible 2008, para el diseño de un supervisorio hay que tener en cuenta, en primera instancia el protocolo de comunicación entre el autómeta y sistema de supervisión, definir que variables van a ser utilizadas por el supervisorio, en una tercera etapa se define el aspecto grafico del sistema dándole forma y contenido al supervisorio

#### **3.1. Comunicación**

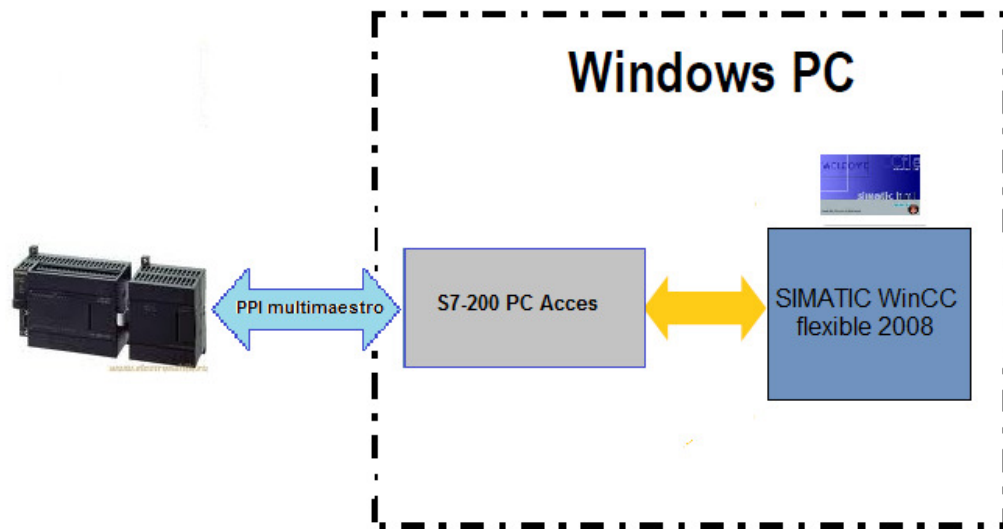
Para la comunicación entre autómeta S7-200 y el supervisorio es necesario establecer un estado intermedio, este estado intermedio consiste en tomar los estados actuales de las variables del autómeta y transferirlos mediante el protocolo OPC al sistema de monitoreo y si el supervisorio puede escribir sobre algunas variables se da en sentido opuesto, es decir, el servidor OPC vigila y transfiere información desde el autómeta al supervisorio y viceversa, la etapa intermedia se realiza mediante el software S7-200 PC Access OPC Server. Este software se comunica con el S7-200 mediante un cable PPI (USB).

A continuación observamos un pantallazo del S7-200 PC Access OPC Server, con las variables del proceso control de velocidad de un GMG DC.



Quando el cliente de prueba está activo el S7-200 PC Access OPC Server se encuentra transfiriendo el estado de las de variables entre el autómata y el supervisor. El diagrama de flujo de la comunicación se muestra en la Figura 39.

**Figura 39.** Diagrama de flujo de comunicación.



La selección del protocolo de comunicación dentro de WinCC flexible se realiza en árbol del proyecto en el modulo de comunicación en el ítem de conexiones, en esta se configura como driver de comunicación OPC, y dentro de los parámetros se selecciona como nombre del servidor el S7200.OPCServer.

### **3.2. Variables**

A la hora de definir una variable en WinCC se debe tener en cuenta los siguientes parámetros principales.

Nombre de la variable: es el nombre interno en WinCC Flexible

Conexión: es la conexión de acceso de datos configurada en la selección del protocolo de comunicación, cuando las variables son internas de WinCC no se especifica la conexión como variable interna.

Símbolo: es el símbolo que se especifica para la variable en S7-200 PC Access.

Tipo de datos: es el tipo de dato o formato de la variable puede ser Int, Short, Long, Bool, Word, Dword, Char, Byte, Float, String, Double Y Date.

Dirección: es la dirección de S7-200 PC Access donde debe acceder la variable para obtener su estado actual.

Ciclo de adquisición: es el tiempo en el que debe leerse, el estado actual de la variable.

En el área de propiedades de la variable se puede establecer escalas lineales de una variable análoga, límites para crear avisos de advertencia, establecer eventos de acuerdo a la variación de la variable.

### **3.3. Diseño Grafico del Supervisorio**

El diseño grafico del supervisorio consiste en darle forma y contenido, es decir en este punto se define e implementa que es lo que se quiere mostrar en el mismo. Este supervisorio contiene una imagen inicial denominada panel de control operador, y un conjunto de tres imágenes que muestran los parámetros del controlador PID, los estados actuales de las variables correspondientes al motor y la imagen correspondiente al generador y sus parámetros.

#### **3.3.1. Panel de control Operador**

Esta es la imagen principal del proyecto, donde se tienen las funciones principales de proceso, tales como arranque, parada, valor de la consigna, valor actual de la variable del proceso, indicadores luminosos que hacen referencia a estados del

proceso (encendido, apagado, alarma y perdida del voltaje de campo del motor) y también se tiene un display de fallas y advertencias pre configuradas en el proyecto.

De manera grafica se tiene un bosquejo que hace referencia a el Motor y el Generador acoplados mecánicamente, donde el generador tiene acoplado un disco ranurado, para medir la velocidad a través de un sensor inductivo. La velocidad del GMG se puede observar en un indicador análogo de RPM. En la parte inferior se tienen un grupo de tecla de navegación del supervisorio y unos accesos directos a las imágenes secundarias del proyecto.

**Figura 40.** Panel de Control Operador



### 3.3.2. Lazo Cerrado

En esta imagen se muestra los parámetros de configuración de un controlador PID.

Tiempo de muestreo.

Tiempo de acción derivativa.

Tiempo de acción integral.

Ganancia del lazo de control.

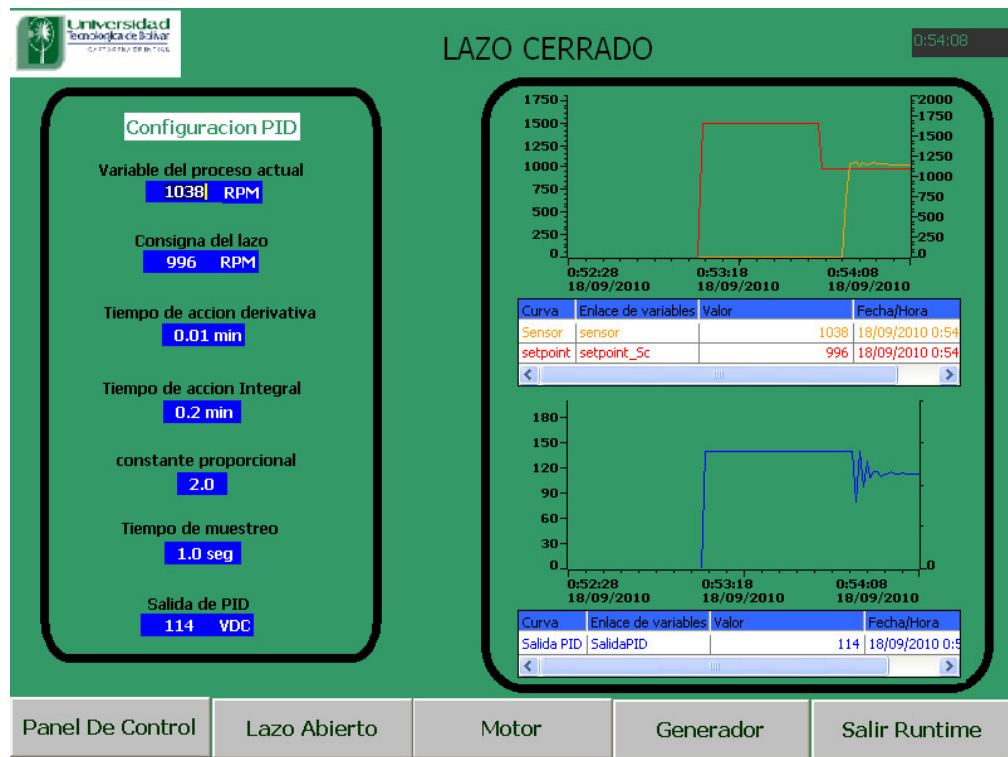
Entradas y salida del controlador PID.

Variable del Proceso Actual.

Consigna del lazo de Control.

Salida del lazo PID

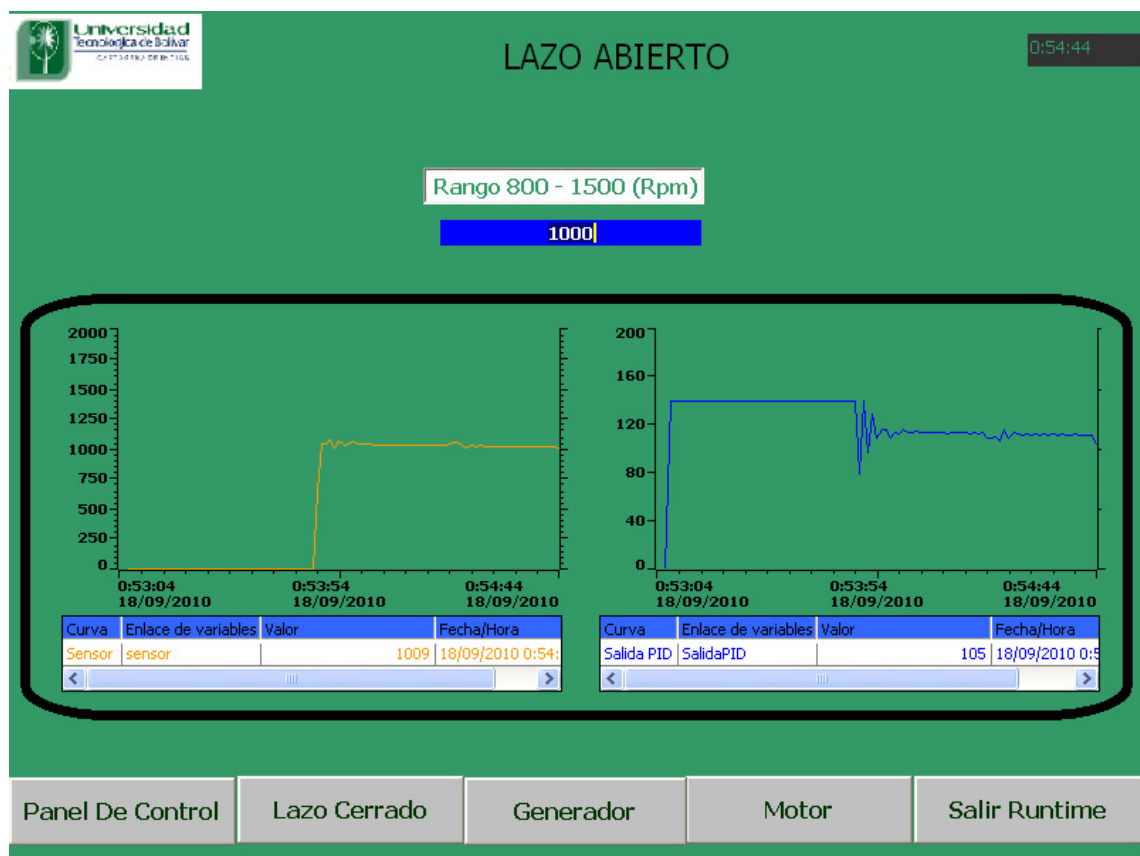
**Figura 41.** Lazo Cerrado



La salida análoga del lazo PID controla un modulo el ángulo de disparo del actuador del proceso.

### 3.3.3. Lazo Abierto

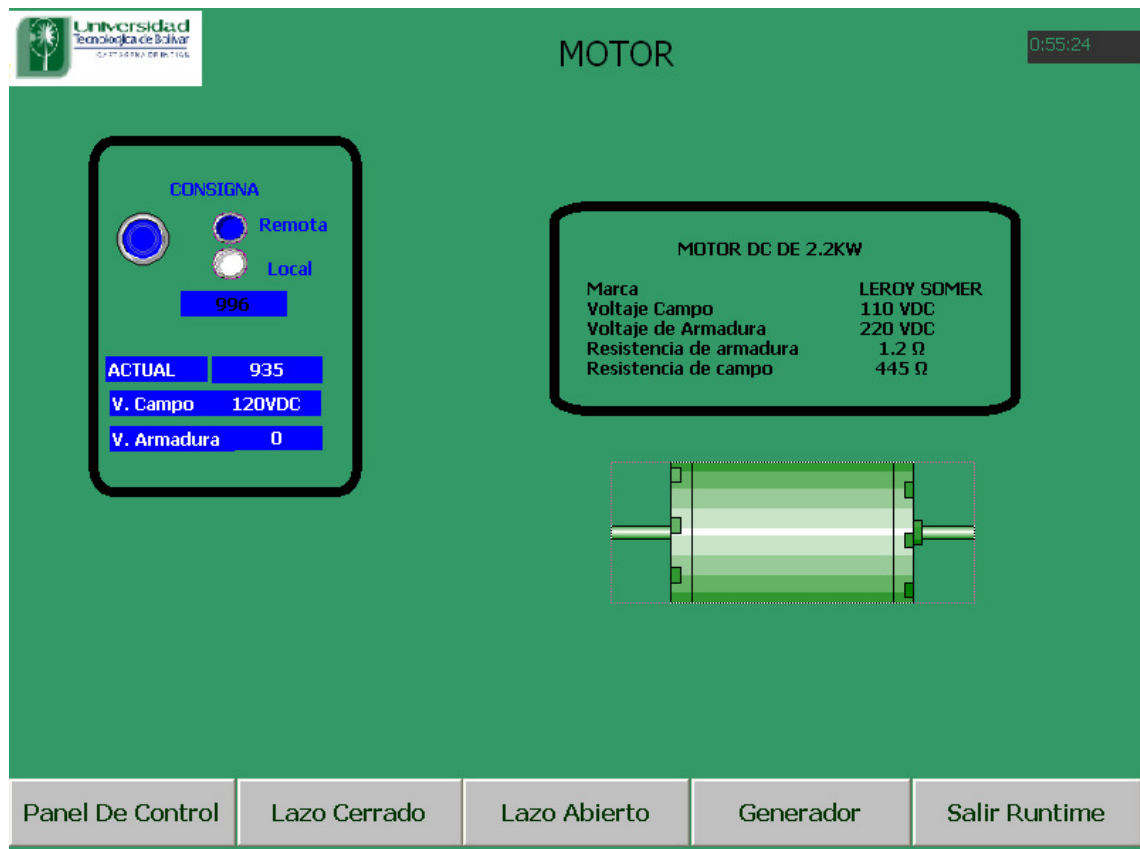
En esta imagen se muestra los parámetros de configuración en lazo abierto, no existe control PID en esta configuración.



### 3.3.4. Imagen parámetros del motor

En esta imagen se muestra la ficha técnica del motor, además de mostrar el voltaje de campo en el motor, que es un valor constante, el valor del voltaje de la armadura. La consigna del lazo de control y la velocidad actual del mismo.

Figura 42. Parámetros del motor





### 3.3.5. Imagen parámetros del generador

En esta imagen se configura un pulsador con retención para activar el control de cargas del generador por el supervisorio, si este no está activo, la activación de las cargas se realiza desde el panel del control físico. Si esta activo el control de cargas del generador por supervisorio, cada SW activa una carga de 100Watt diferente, cuando una carga se activa se enciende un indicador luminoso predeterminado.

También se puede observar la ficha técnica del Generador y los valores actuales de velocidad y voltaje generador en el inducido.

**Figura 43.** Parámetros del Generador

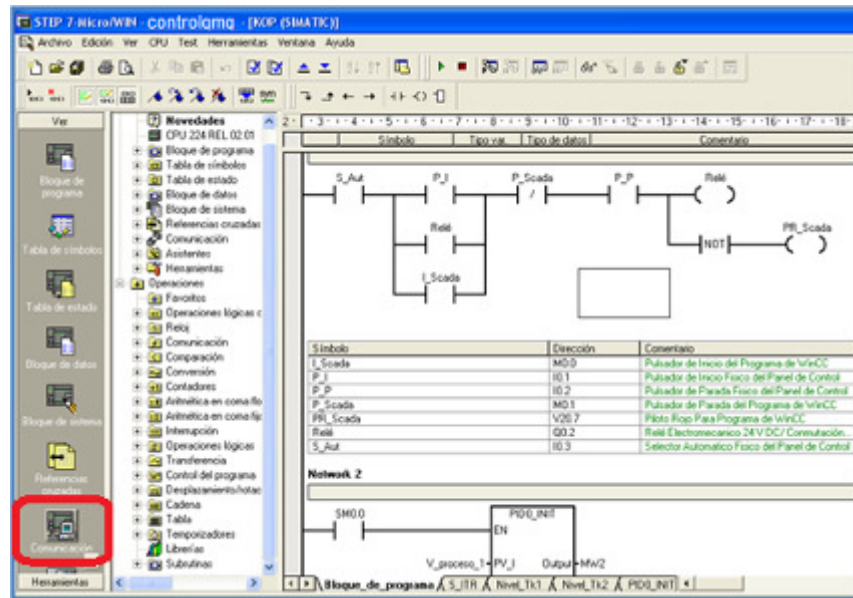


## 4. PRACTICA DE LABORATORIO

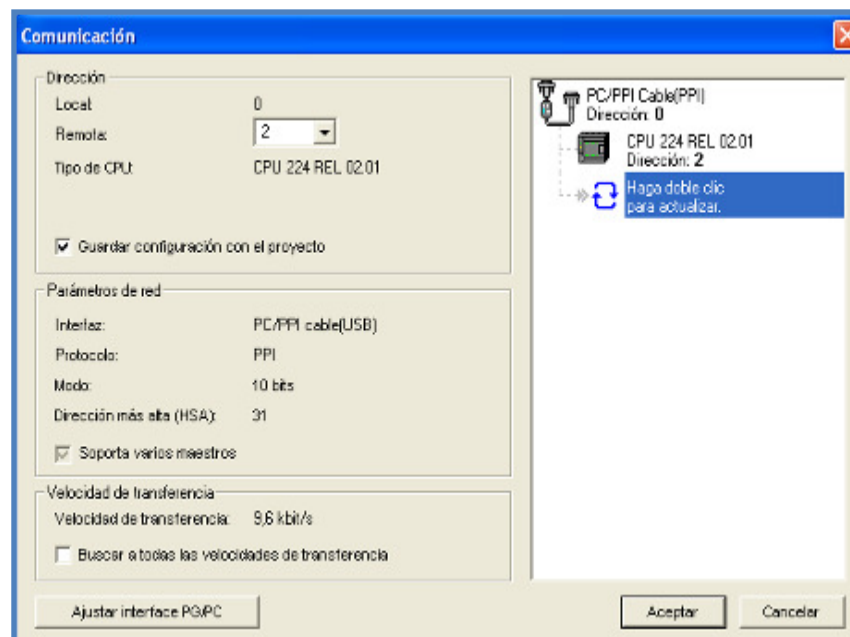
En esta sección se describe la práctica de laboratorio que permite observar y analizar el comportamiento del control de velocidad del GMG a diferentes valores de carga.

A continuación se presentan los pasos para realizar la práctica:

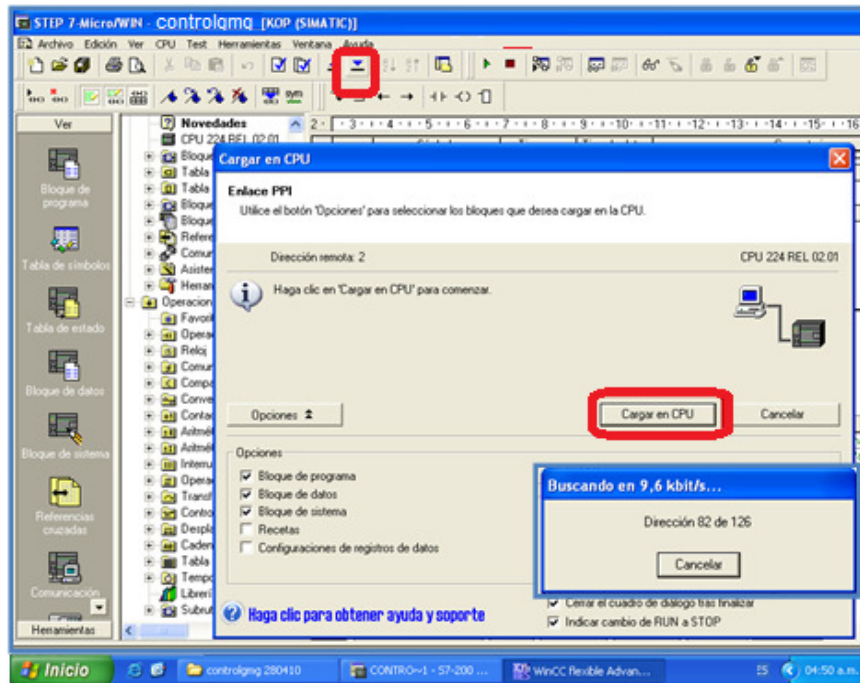
1. Conectar los conectores Centronics del banco al PLC, conectar el PLC y encender la fuente externa (debe estar encendido el Piloto Rojo de Parado o Apagado), el selector del panel de control debe estar en automático para que el PLC ejerza la acción de control sobre el grupo motor generador.
2. El panel de control debe conectarse a una fuente de de corriente alterna de 110 V.
3. Conectar la alimentación del grupo motor generador a una fuente de corriente AC de 220 V.
4. Abrir el archivo "*controlgmg.mwp*" de MicroWin 4.0



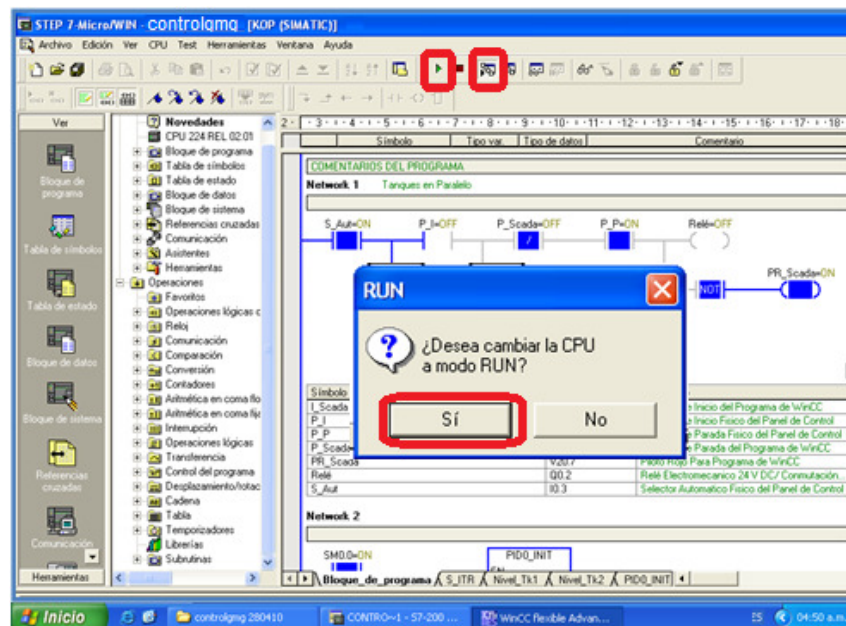
- Se pulsa en el botón comunicación de la ventana anterior, para ejercer la comunicación entre PLC y MicroWin 4.0



6. Luego se carga el programa en la CPU 224 del SIMATIC.

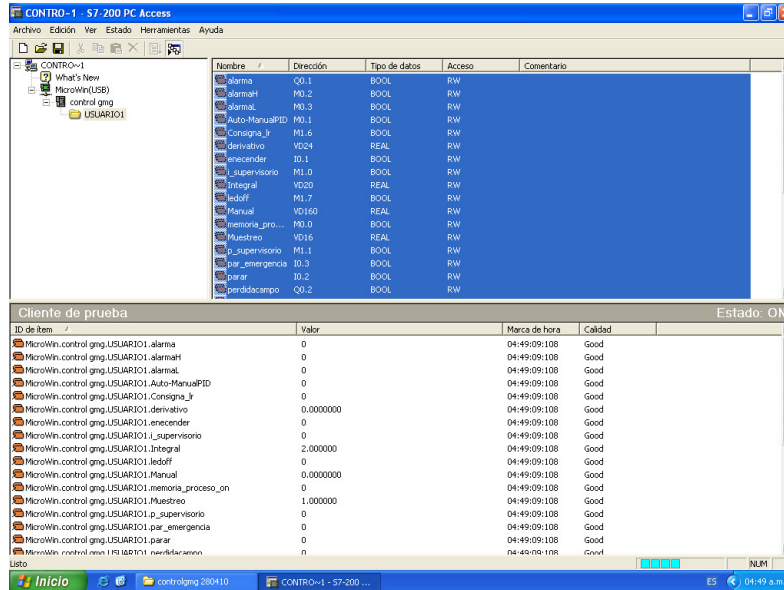


7. Hacer Click en RUN y en Estado del Programa

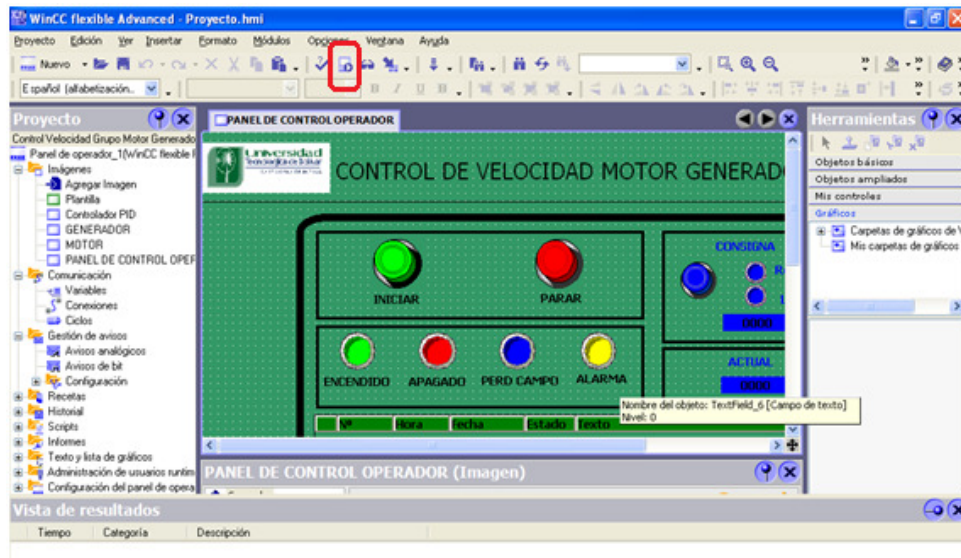


8. Abrir "controlmgm.pca" de software S7-200 PC Access para ejercer la comunicación entre MicroWin 4.0 y WinCC Flexible. Se selecciona todos

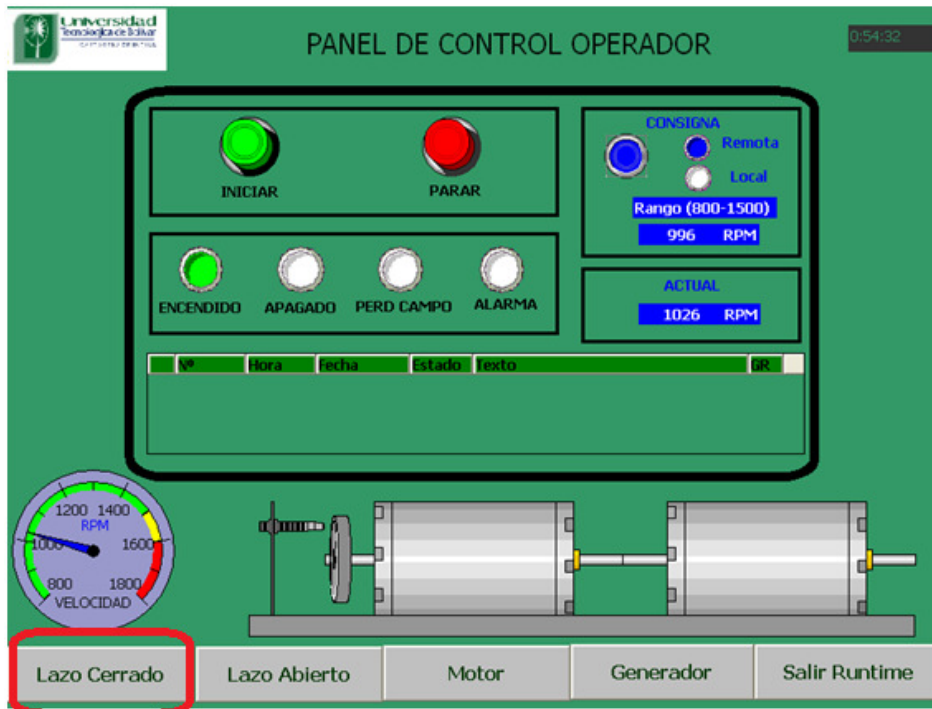
los items y se cargan en el cliente de Prueba para observar el estado de cada variable.



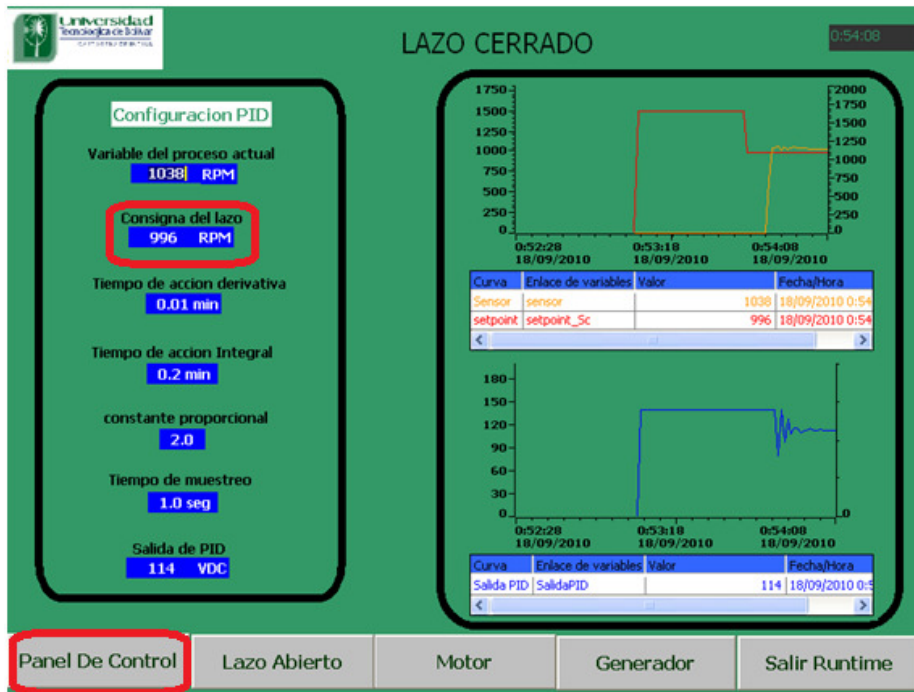
9. Abrir archivo “controlgmg.fwx” de WinCC, y dar click en RunTime para empezar a introducir los parámetros para la operación del banco.



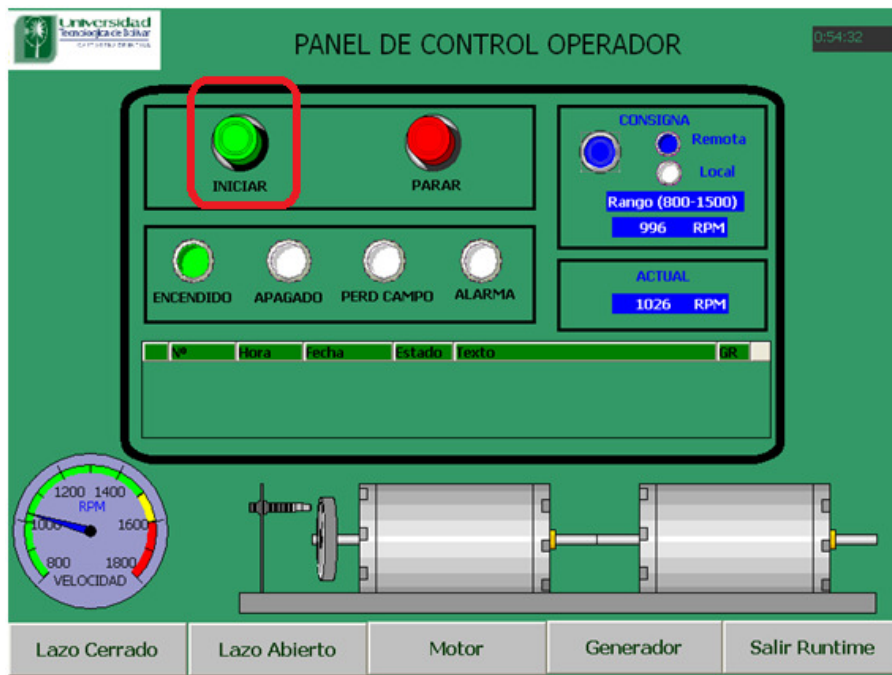
10. Se debe verificar que en el panel de operador, el selector (manual – automatico) se encuentre en estado automatico, en la pantalla principal del panel operador hacemos click en “Lazo Cerrado” para darle los valores deseados de arranque del motor.



11. Luego colocar la velocidad deseada de arranque de los motores (preferiblemente 1000 RPM) y presionar enter, despues dar clic en “Panel De Control” para ir a la pantalla principal.



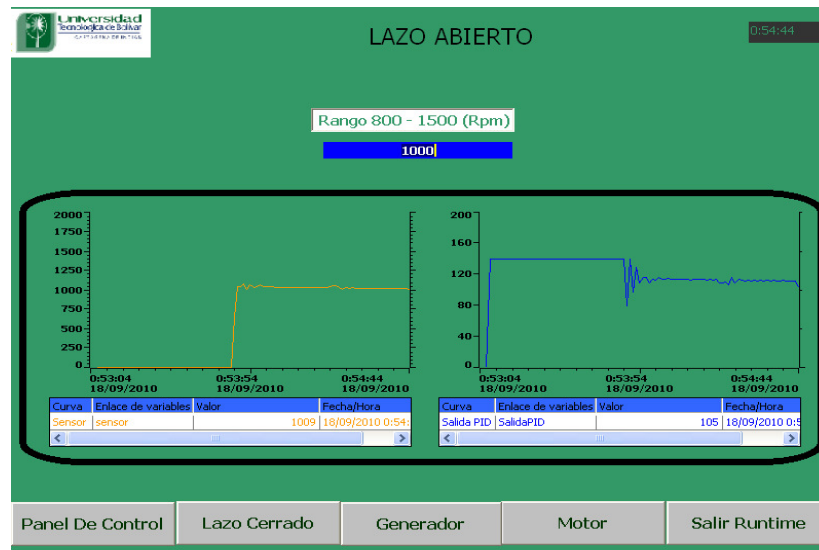
12. En la pantalla principal ya introducidos los parámetros de arranque del motor, se procede al encendido del banco dando click en “INICIAR”.



13. Dando click en “Lazo Cerrado” podemos observar el comportamiento del grupo motor generador con sus respectivas variables y datos del proceso.



14. Dando click en “Lazo Abierto” observamos en comportamiento del grupo motor generador sin control PID.





## **5.0 RESULTADOS OBTENIDOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el banco en modo automático confrontando las pruebas realizadas en vacío y con carga en el generador, en la primera sección se muestran los resultados en vacío, en la segunda sección se muestran los resultados con carga de 100 watt, en la tercera sección se muestran los resultados con carga de 200 watt, y por último en la cuarta sección se muestran pruebas con carga de 300 watt.

### **5.1 Control automático en vacío**

En esta sección se mostraran pantallazos del controlador PID en el sistema de supervisión, se realizaron diferentes pruebas con valores de la consigna del lazo de 800, 1000, 1200 y 1500.

En la Figura 44 se muestra el control automático en vacío con valor de consigna de 800 RPM en donde se nota que la variable del proceso alcanza el valor de la consigna por lo que se logra el control de la velocidad del GMG.

En la Figura 45 se realiza la misma prueba pero con un valor de 1000 RPM en la consigna del lazo y se obtiene un comportamiento similar que en la Figura 44 donde la variable del alcanza a 1030 y se mantiene con variaciones de +/- 2 RPM.

En la Figura 46 con un valor de set point de 1200 se muestra que la acción de control del PID lleva la variable del proceso 1201 con una variación de +/- 2 RPM logrando un control similar a las de las pruebas anteriores, por último se selecciona un valor de 1500 RPM para la consigna del lazo con el motor sin carga donde el controlador PID mantiene la variable del proceso en 1495 RPM como se muestra en la Figura 47, confirmando la buena acción de control sobre la velocidad del GMG.

**Figura 44.** Control automático 800 RPM en vacío.

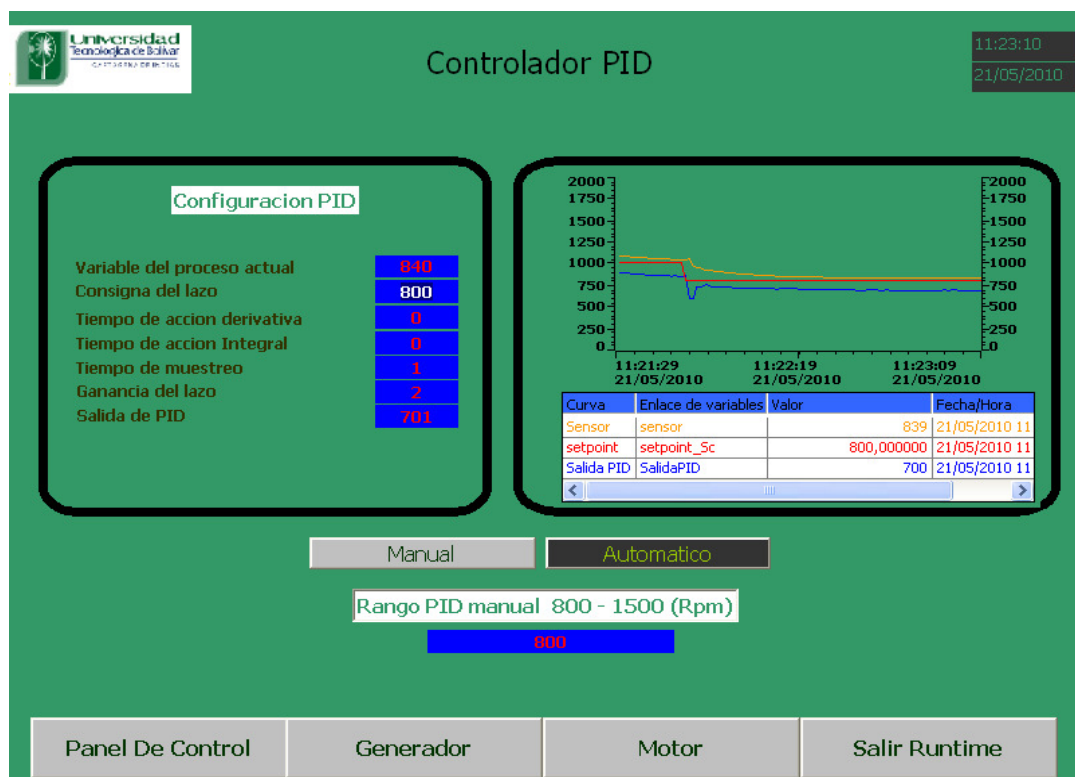


Figura 45. Control automático 1000 RPM en vacío.

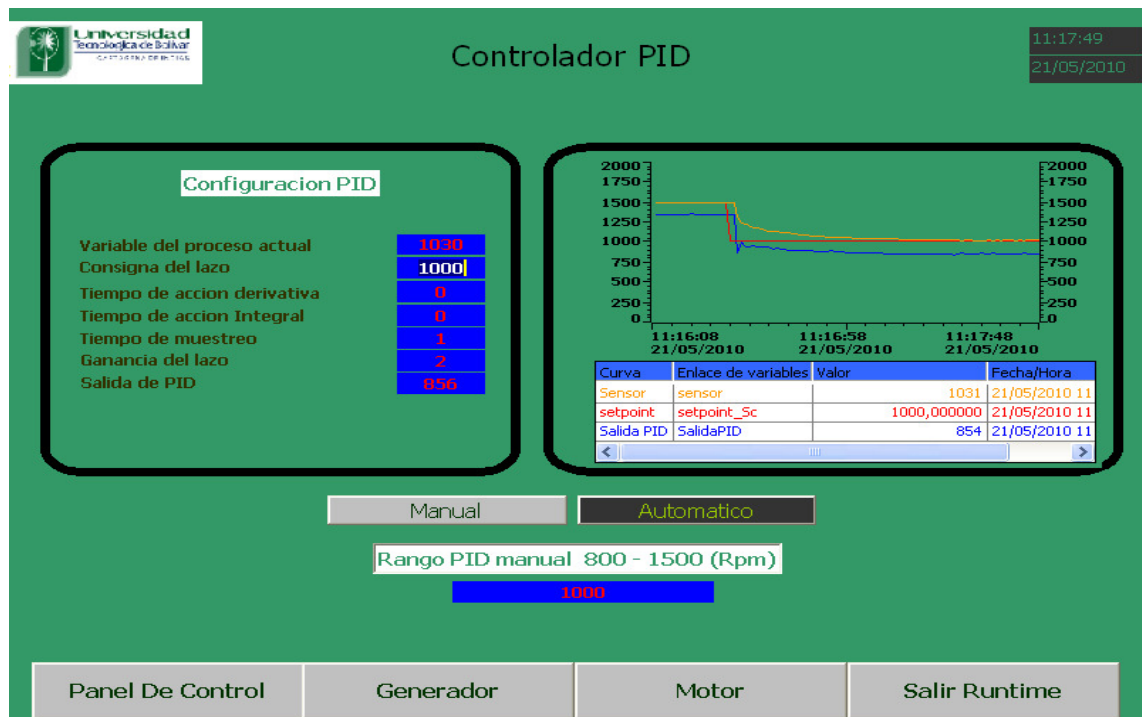
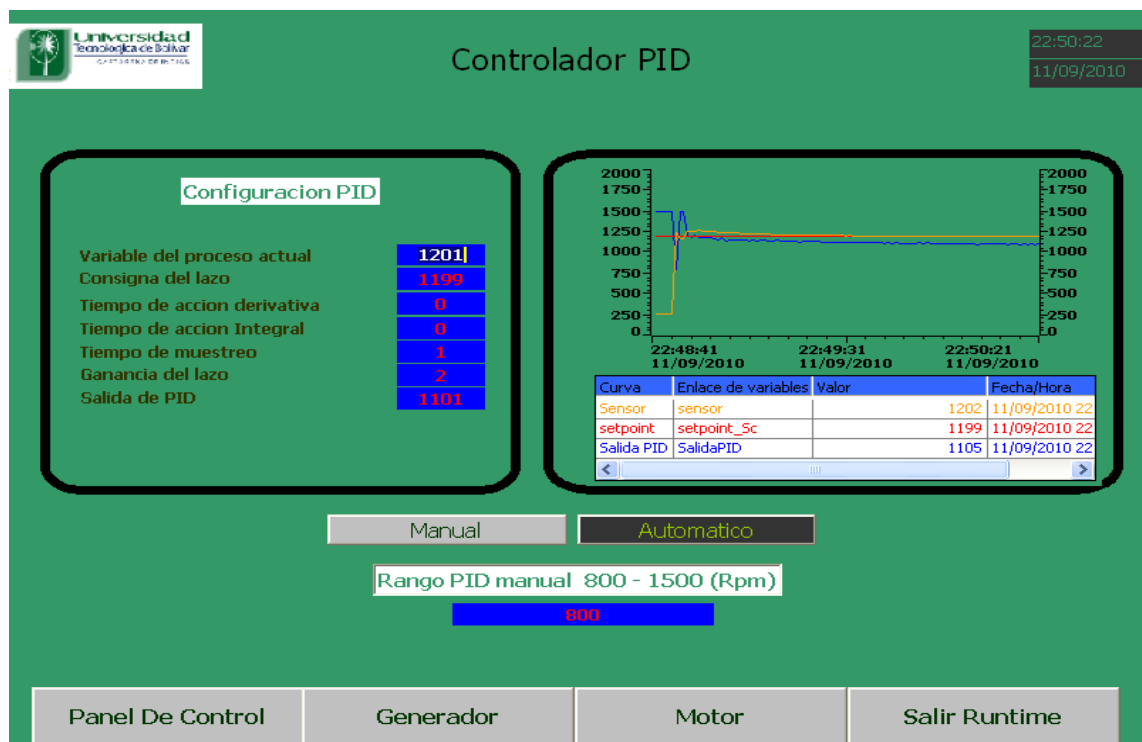
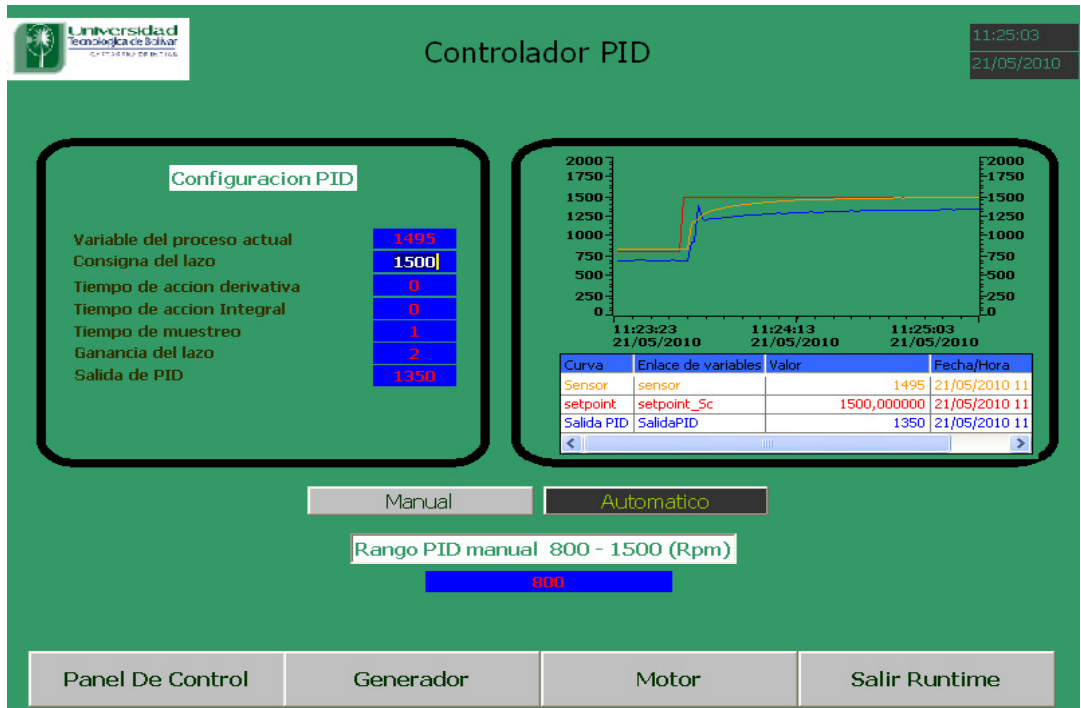


Figura 46. Control automático 1200 RPM en vacío.



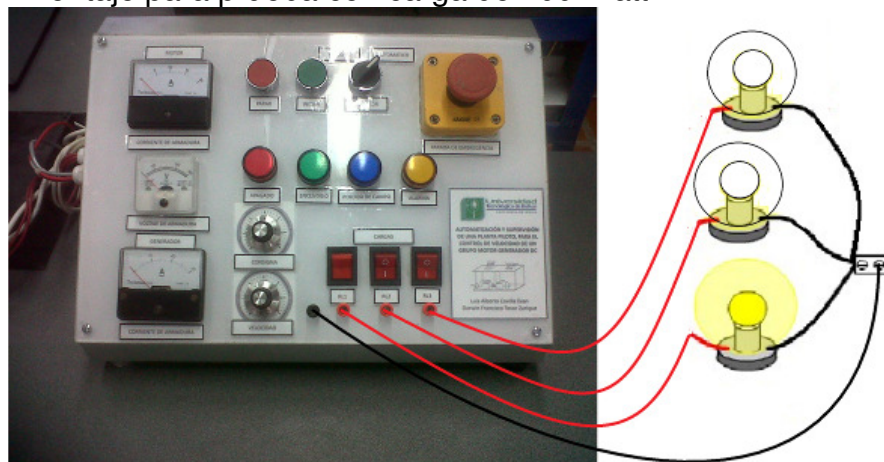
**Figura 47.** Control automático 1500 RPM en vacío.



## 5.2 Control automático con carga de 100 watt

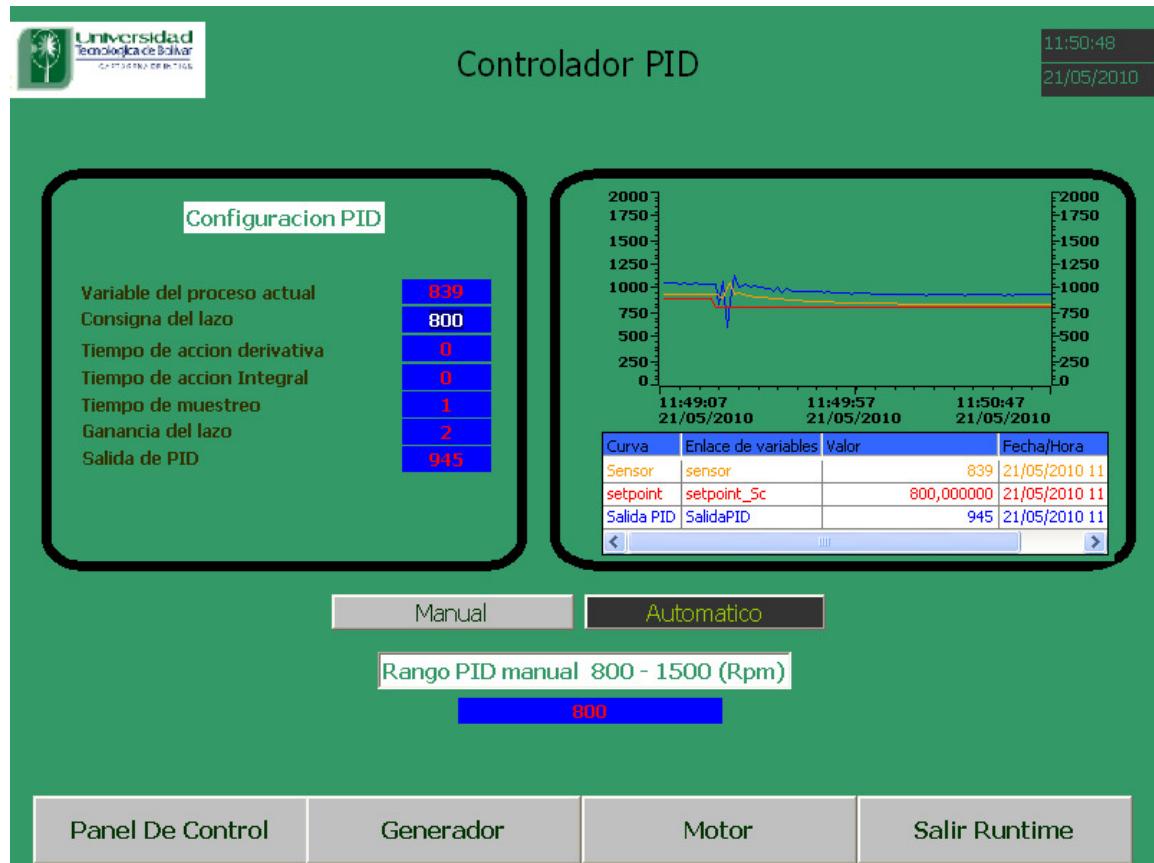
En esta sección se muestran los resultados obtenidos del banco colocando una carga de 100 Watt en el generador, el montaje es mostrado en la Figura 48.

**Figura 48.** Montaje para prueba con carga de 100 Watt.



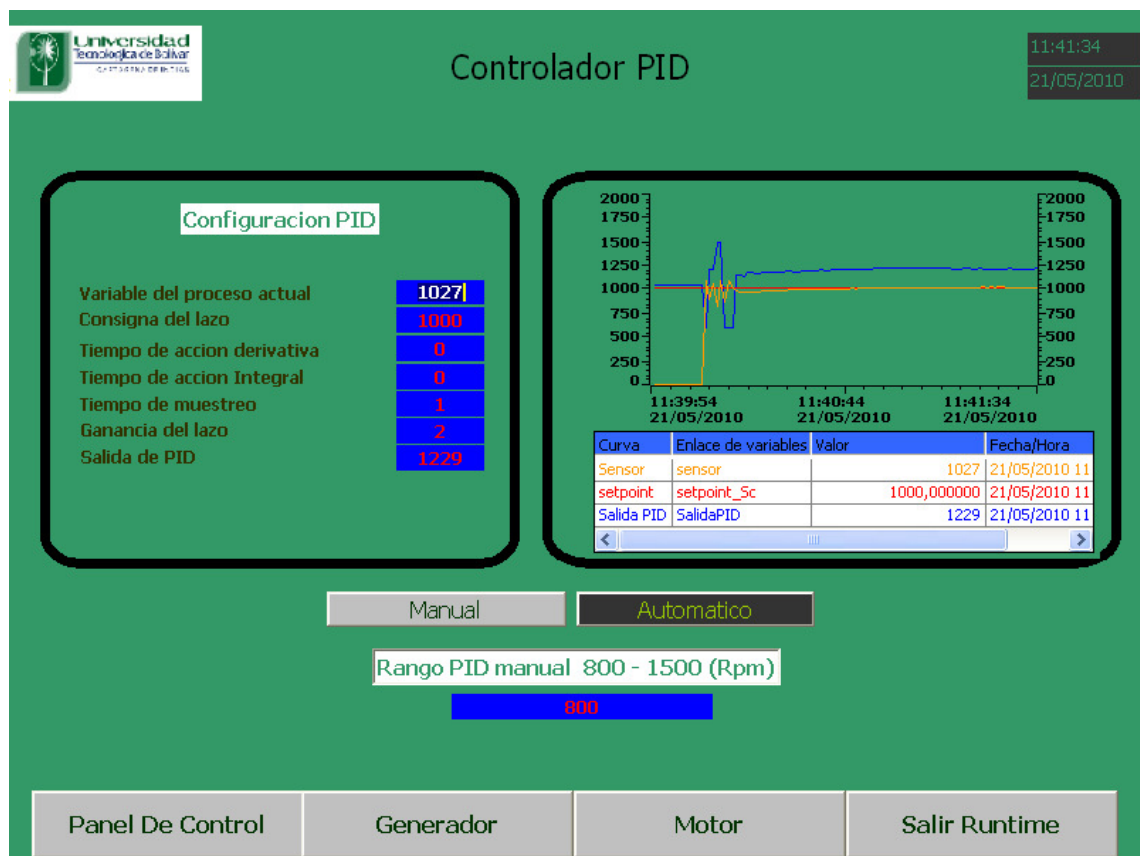
En la Figura 49 se muestra el proceso con carga de 100 Watt en el generador con un valor de consigna del lazo de 800 RPM donde notamos que el controlador lleva la variable del proceso a un valor de 839 RPM igual que la prueba en vacio mostrada en la Figura 44 con la diferencia salida del PID se encuentra en 945 en la prueba con carga de 100 Watt y la prueba en vacio se encuentra en 701 esta diferencia encuentra razón en que el motor necesita un valor mayor de voltaje en la armadura para contrarrestar la carga en el generador que es transmitida hasta el motor.

**Figura 49.** Control automático a 800 RPM con carga de 100 Watt.



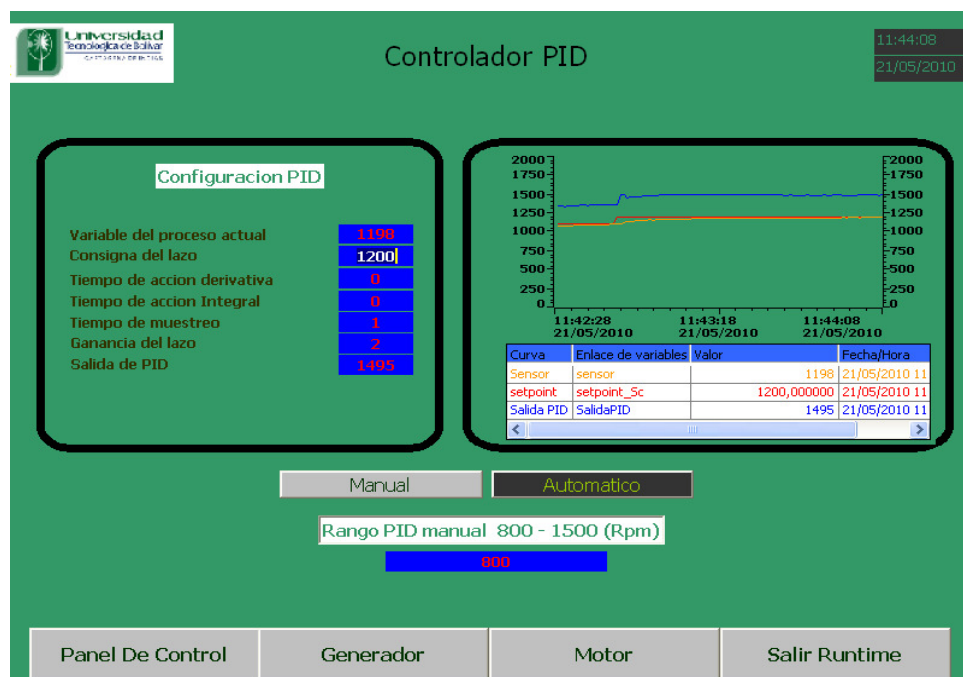
En la Figura 50 se muestra la prueba realizado con carga de 100 Watt en el generador con valor para la condigna del lazo del lazo de 1000 RPM donde el controlador lleva la variable del proceso a un valor de 1027 logrando un buen control sobre la variable del proceso, caso similar al de la prueba en vacio con el mismo valor de consigna de lazo mostrado en la Figura 45, con una diferencia de 373 unidades en la salida del PID debido a que el valor en la Figura 45 es de 856, esto se debe a que el controlador aumenta el voltaje en la armadura para contrarrestar la carga de 100 watt en el generador.

**Figura 50.** Control automático a 1000 RPM con carga de 100 Watt.

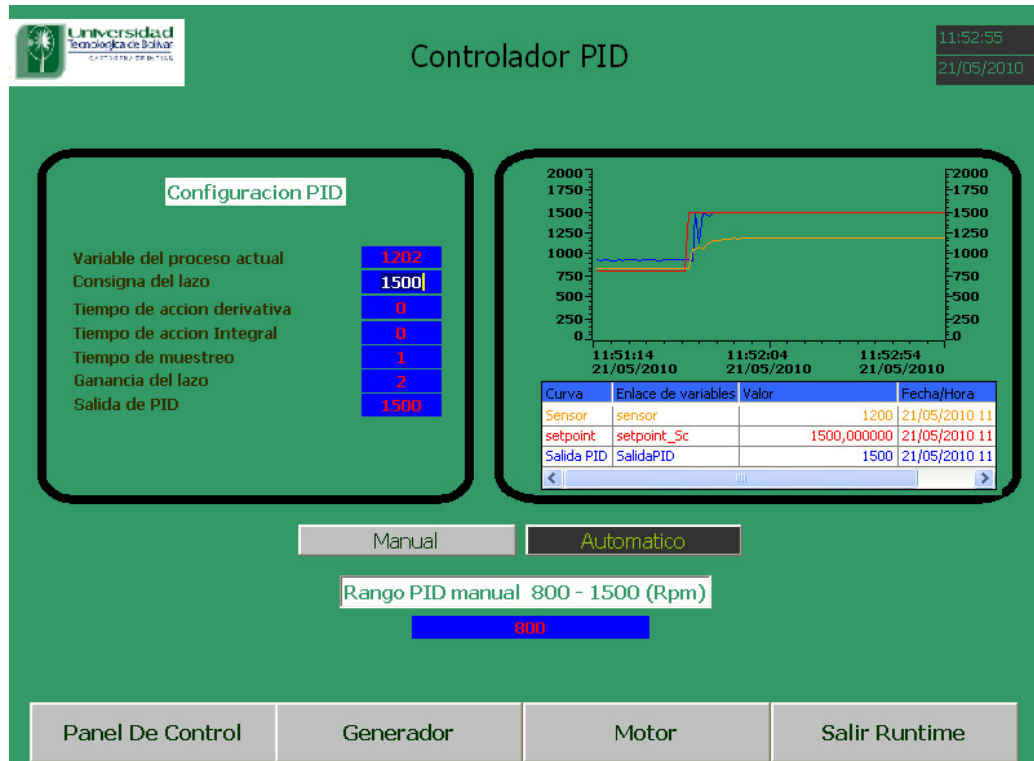


En la Figura 51 se muestra la prueba con la misma carga de 100 Watt en el generador donde se alcanza a controlar la variable del proceso y mantenerla a 1198 RPM, mientras el valor de la consigna del lazo esta seteado a 1200 RPM, en comparacion a la prueba en vacio mostrada en la Figura 46 se nota que la salida del pid se encuentra en (no se tiene imagen de 1200 rpm en vacio) mientras que con carga de 100 watt se encuentra en 1495 que es casi el valor maximo al que puede llevar el PID su salida (1500 es el valor maximo de la salida del PID), dado que el PID no puede aumentar el voltaje en la armadura no es posible realizar control para valores mayores de 1200 RPM como consigna del lazo tal como se ve en la Figura 52 donde se tiene 1500 RPM como consigna el contralador lleva su salida hasta el mayor nivel y solo puede llevar la variable del proceso a 1202 RPM que esta muy lejos del valor deseado.

**Figura 51.** Control automático a 1200 RPM con carga de 100 Watt.



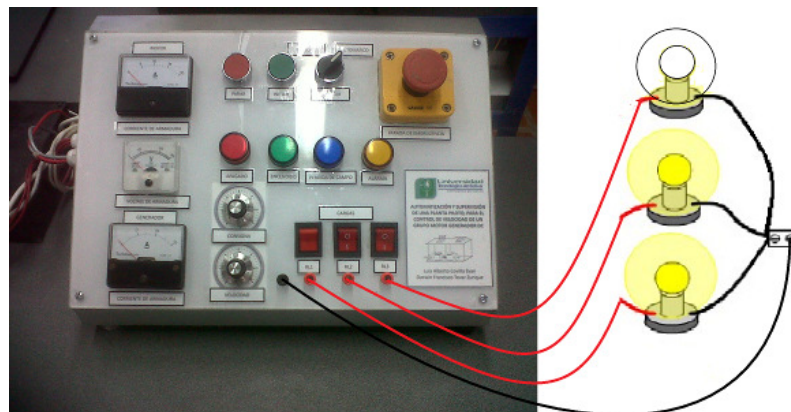
**Figura 52.** Control automático a 1500 RPM con carga de 100 Watt.



### 5.3 Control automático con carga de 200 watt

En esta sección se muestran los resultados de las pruebas con carga de 200 Watt en el generador el montaje se observa en la Figura 53.

**Figura 53.** Montaje para prueba con carga de 200 Watt.





Al realizar las pruebas con 200 watt con carga notamos que el PID solo puede controlar en un rango de 900 RPM como se muestra en la Figura 54 hasta 1125 donde la salida del PID se encuentra en su valor máximo como es mostrado en la Figuras 55 y 56, para valores de consigna menores de 900 RPM el GMG entra en un estado de oscilación y no logra controlar en ningún momento.

**Figura 54.** Control automático a 900 RPM con carga de 200 Watt.

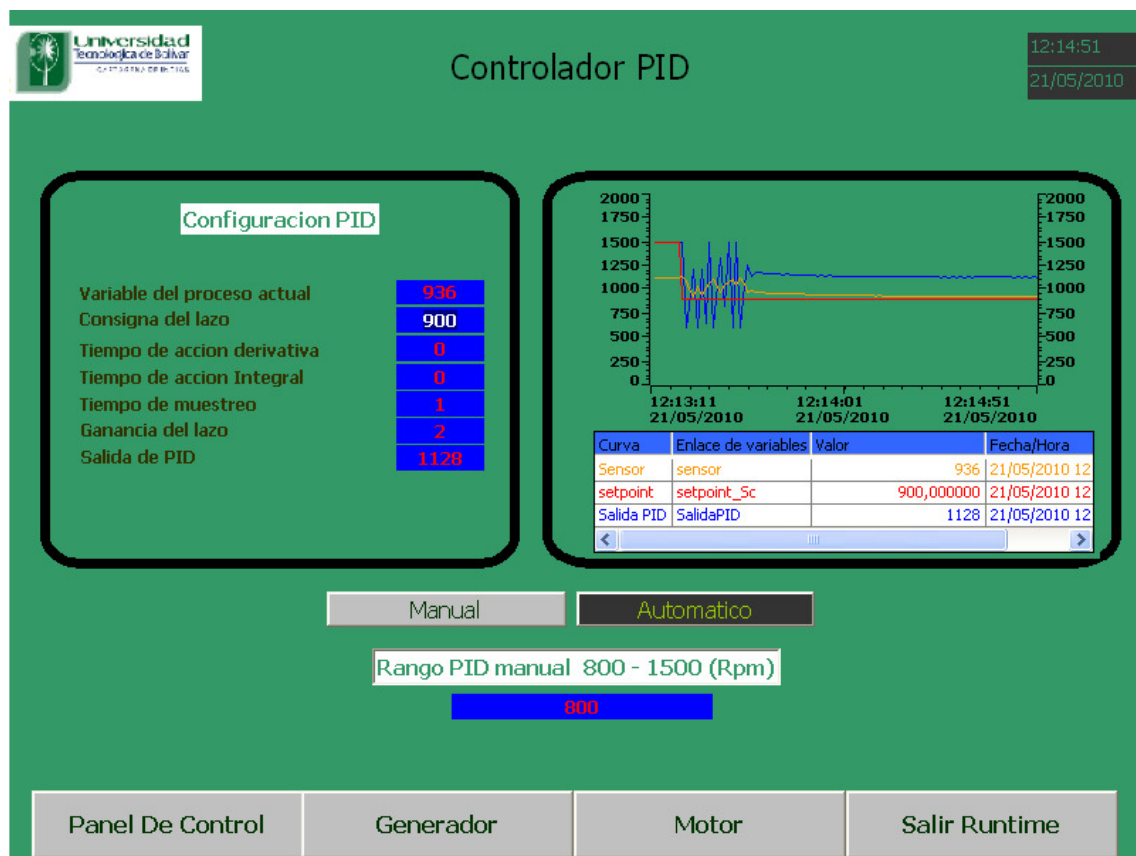


Figura 55. Control automático a 1200 RPM con carga de 200 Watt.

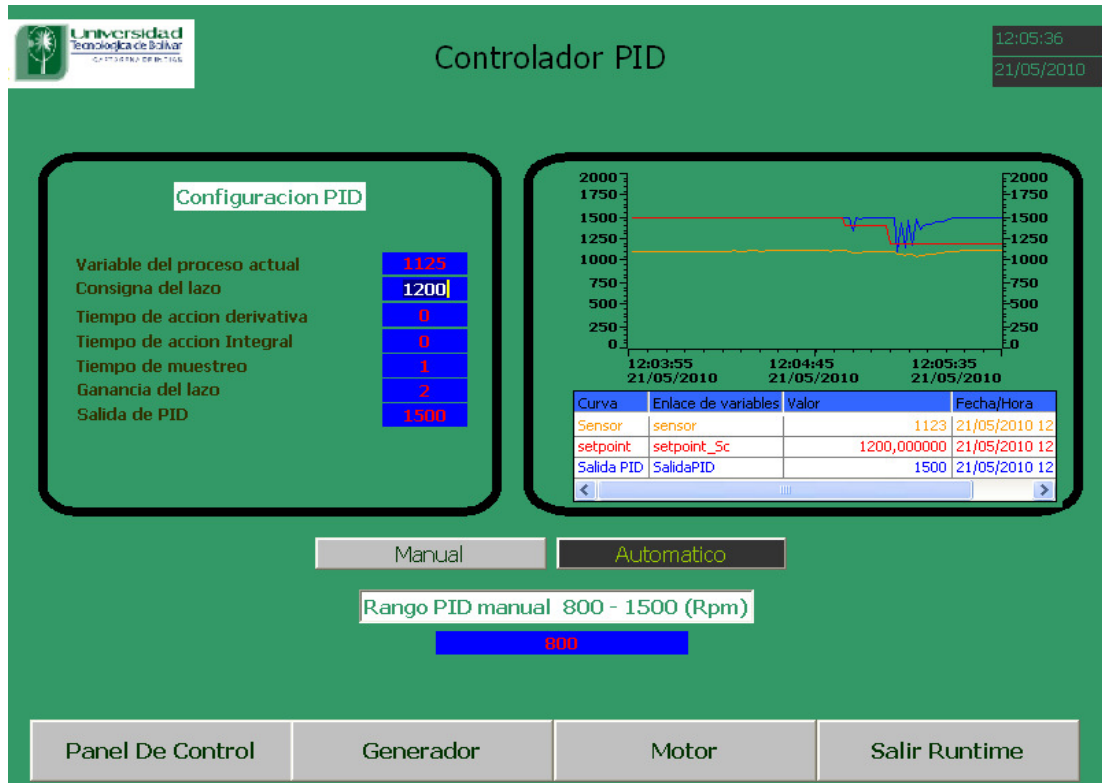
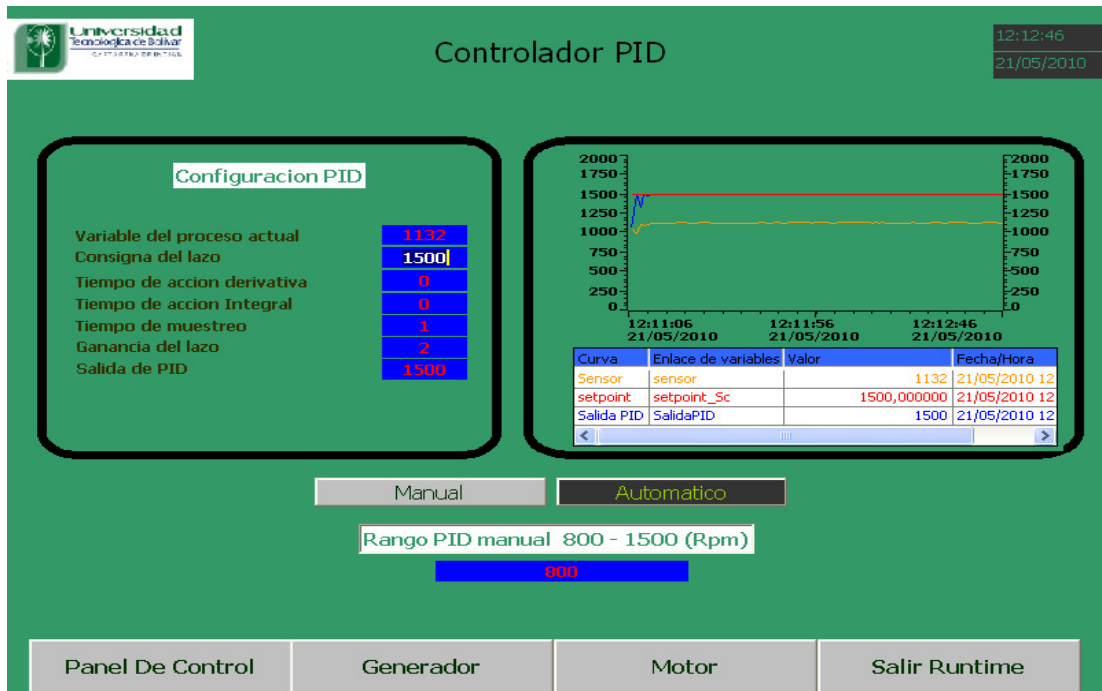


Figura 56. Control automático a 1500 RPM con carga de 200 Watt.



## 5.4 Control automático con carga de 300 watt

Cuando se realizaron las pruebas con carga de 300 Watt (ver Figura 57) el PID no puede ejercer control alguno sobre el GMG debido a que el motor alcanza su corriente nominal de operación 4.8 AMP, como se muestra en la Figuras 58 y 59 no importando el valor de la consigna del lazo la variable del proceso se mantiene entre 1074 y 1076 RPM, para valores superiores de consigna del lazo la salida del PID se mantiene en 1500.

**Figura 57.** Montaje para prueba con carga de 300 Watt.

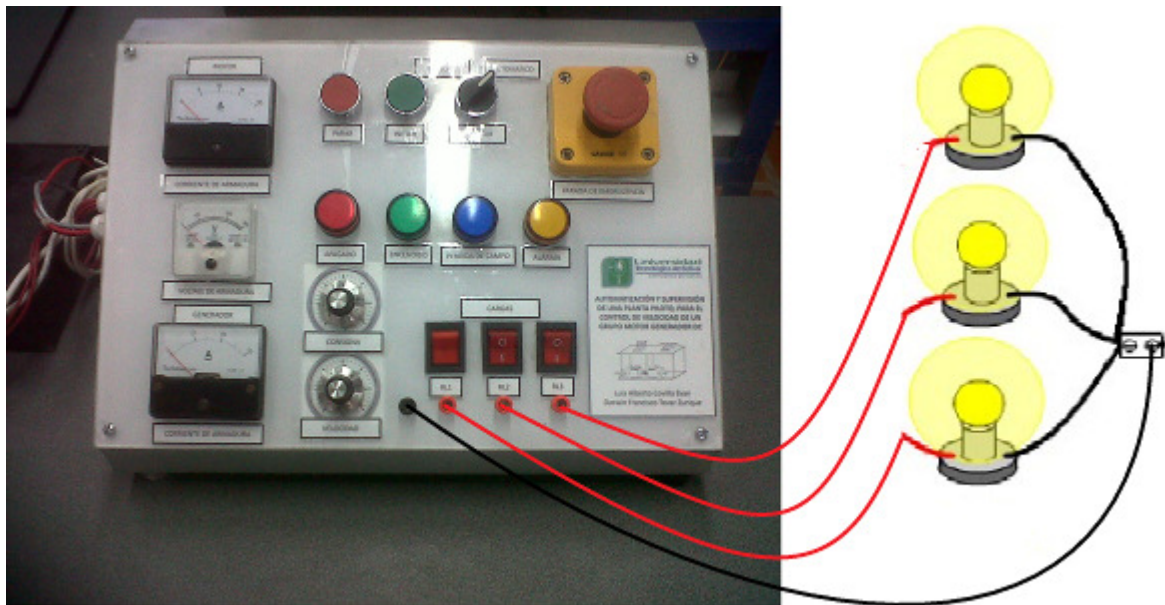


Figura 58. Control automático a 1200 RPM con carga de 300 Watt.

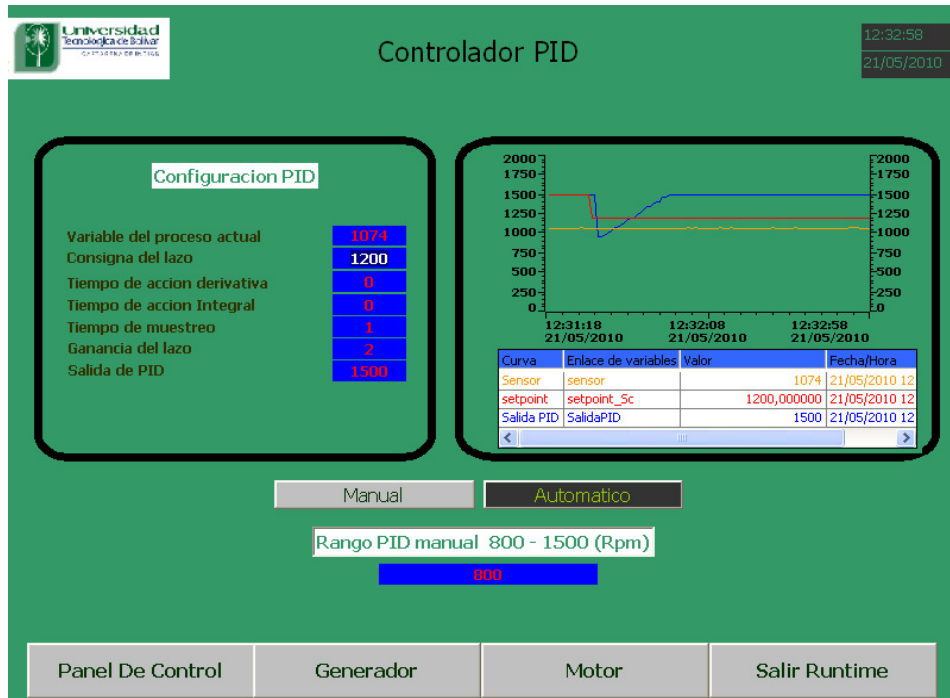
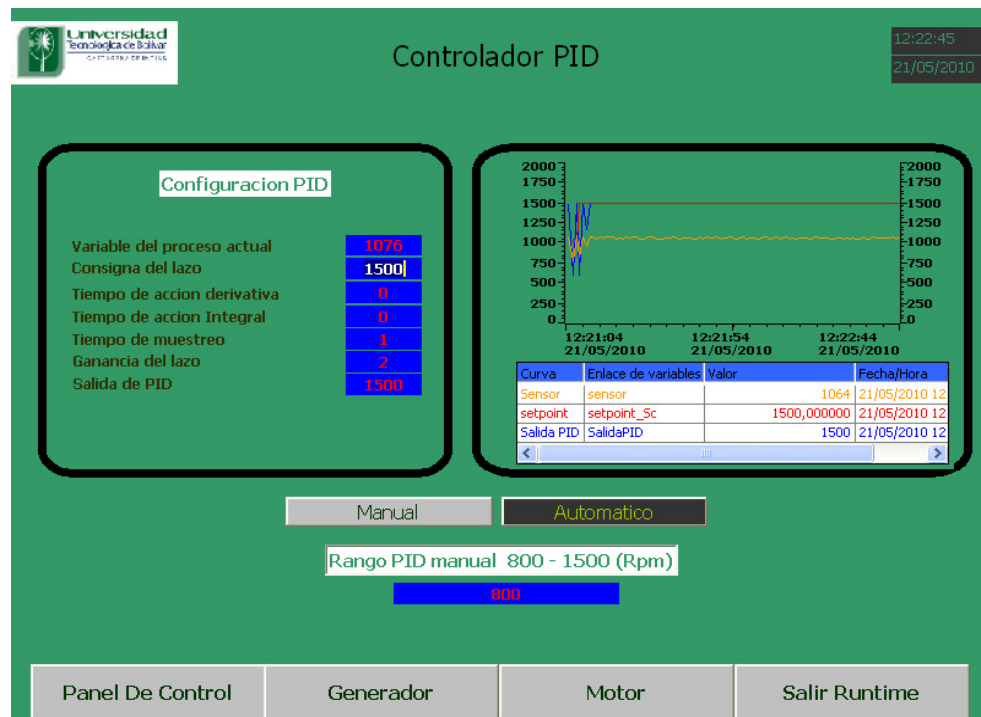


Figura 59. Control automático a 1500 RPM con carga de 300 Watt.



## 5.5 Rango de velocidades para control.

Debido a las características actuales de las maquinas de corriente continua, que presentan diferencias en los devanados de armadura como se explico en el diseño de la etapa de potencia agregando que el valor de aislamiento a tierra de la bobina de armadura del generador se encuentra en  $0.4 \text{ M}\Omega$ , notamos que el generado no se encuentra en optimas condiciones de funcionamiento restringiendo el buen control de velocidad del GMG, soportándose en los resultados obtenidos se sintetiza en la tabla 10 los rangos donde se puede ejercer buena acción de control sobre el GMG.

**Tabla 11.** Rango de velocidades para control automático.

Carga	Rango (rpm)
Vacio	800-1500
Generador con campo conectado	800-1300
100 watt en generador	900-1200
200 watt en generador	900-1100
300 watt en generador	Alcanza corriente nominal 5.5 Amp.

## CONCLUSIONES

Con este trabajo se implementó un controlador de velocidad para un grupo Motor-Generador, utilizando un autómatas programable S7-200 para el modo de operación automático del banco y un control por medio de un potenciómetro lineal para el modo de operación manual, además se dispone de un sistema de supervisión configurado en un computador.

Con los valores sintonizados para las constantes derivativa, integral y proporcional En el PLC SIEMENS SIMATIC S7-200 se logra una buena acción de control sobre el grupo Motor-Generador obteniendo tiempos de asentamientos de 60 segundos aproximadamente.

El sensor de velocidad implementado permite monitorear las rpm del grupo Motor-Generador, cada 20°, con una desviación máxima de 3 rpm tomando como referencia el foto tacómetro y de Contacto LTDT-2236.

El puente monofásico semicontrolado simétricamente en estado estable del equipo cumple con las condiciones de diseño debido a que puede entregar en forma permanente un voltaje de salida estable y una corriente superior a la nominal del motor.

El sistema de supervisión diseñado permite al usuario visualizar el estado de las variables del proceso en tiempo real, para estudiar el comportamiento del mismo, el supervisorio fue implementado en el software SIMATIC WinCC flexible.

Debido a las condiciones actuales del generador por tener un bajo aislamiento a tierra ( $0,4M\Omega$ ) y una baja resistencia de armadura ( $1,2\Omega$ ) se restringió el rango de rpm (entre 800 y 1500 RPM) en que se puede controlar la velocidad del grupo Motor-Generador logrando resultados satisfactorios de control con variaciones de  $\pm 2$  rpm sobre el valor de la consigna del lazo.

Al culminar el desarrollo este prototipo quedan abiertas opciones de mejoras para seguir investigando e implementando otras técnicas de automatización de maquinas de corriente continua enfatizado en los procesos industriales más utilizados.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Mogollón Marín, Julio Cesar & Múnera Díaz, Ulises David. Diseño e implementación de un control fuzzy de velocidad para un motor DC de potencia, Universidad Tecnológica de Bolívar, 2003.
- [2] SIMATIC. Manual del sistema de automatización S7-200, SIEMENS, Edición 09/2007.
- [3] Chávez Corcho, Víctor Manuel & Montenegro Gómez, Nicolás Mauricio. Automatización de una planta piloto de nivel de dos tanques en paralelo, Universidad Tecnológica De Bolívar, 2009.
- [4] OGATA, Katsuhiko. Ingeniería De Control Moderna, Universidad de Minnesota. ed. México: Ann Marie Longobardo.
- [5] Arévalo Luzuriaga, Marcelo Javier & Rivera Gaibor Juan Carlos. Construcción de módulos didácticos de convertidores AC/DC para el aprendizaje práctico de los estudiantes de la carrera de ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial, universidad tecnológica equinoccial, 2000.





[6] García Alfaro, Luis Carlos. Diseño y construcción de un convertidor controlado CA-CD monofásico, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, 2005.

**ONCH INDUCTIVE PROXIMITY SENSOR**  
Higher Performance at Reduced Price

**QS·QL Series**  
Square-shaped  
Top SENSING

**TS Series**  
Tubular type

*Quality . Technic . Service*

# TS Series

# QL Series

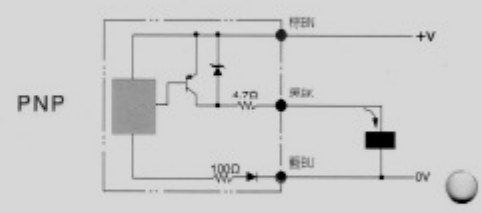
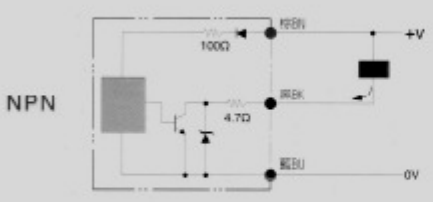
## 規格索引 Select Guide

### QL-1805 NA-4C

1 2 3 4 5 6

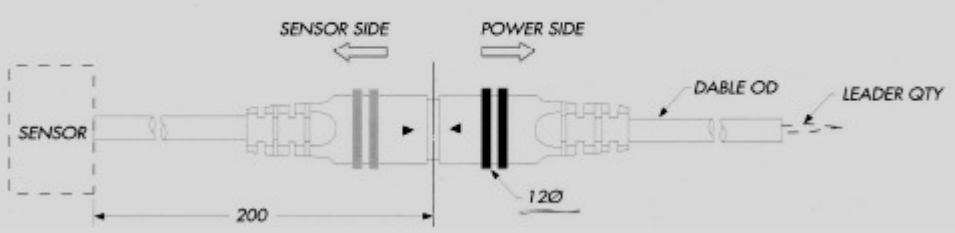
- 1 系列別 Products Series**  
 QS: 塑膠角柱型 Square Type  
 QL: 塑膠角柱型 Square Type  
 TS: 金屬圓柱型 Tubular Type
- 2 外徑尺寸 Dimension**  
 TS: 18mm
- 3 感應距離 Sensing Distance**  
 03.5 mm
- 4 輸出型式 Output Type**  
 NA/NPN-常開型 NPN Normally Open  
 NB/NPN-常閉型 NPN Normally Close  
 PA/PNP-常開型 PNP Normally Open  
 PB/PNP-常閉型 PNP Normally Close
- 5 電線長度 Wire Length**  
 無: 標準品 2m    *note: standard(2m)*  
 4: 4m
- 6 接頭出線方式 Connector**  
 C: 快速接頭 Plug connector

## 輸出迴路及接線圖 Output Circuit-Wiring Connections



## 快速接頭 Plug Connectors

TS-08 系統無連接器接頭  
 Series TS-08 is the type which have no plug connectors.



## 規格性能 Specifications

### DC SQUARE SHAP PROXIMITY SENSORS 直流角柱型近接感測器

Item	Model No.	QS-1705	QS-1708	QL-1805	QL-1808
Max. operation distance	最大感測距離	5mm±10%	8mm±10%	5mm±10%	8mm±10%
Secure sensing range	安全感測範圍	0 to 4mm	0 to 7mm	0 to 4mm	0 to 7mm
standard sensing object	標準感測物體	Iron steel 17 X 17 X 1 mm			
Hysteresis	磁滯距離	15% or less of operation distance			
Supply voltage	電源電壓	10-30 VDC			
current consumption	消耗電流	10mA or less			
Output current	輸出電流	Maximum sink current 150 mA			
Residual voltage	殘留電壓	1.5V or less (at 150mA sink current)			
Max. response frequency	反應頻率	600HZ	200HZ	600HZ	200HZ
Degree of protection	保護等級	IP67			
Temperature/Humidity	周圍溫度 / 濕度	-20 to +70°C/35 to 95% RH, Storage : -20 to +70°C/35 to 95% RH			
Material	外觀材質	Cade : ABS			
Weight	重量	49g	49g	51g	51g

### DC TUBULAR TYPE PROXIMITY SENSORS 直流圓柱型近接感測器

Item	Model No.	TS-3010	TS-3015	TS-1805	TS-1808
Max. operation distance	最大感測距離	10mm±10%	15mm±10%	5mm±10%	8mm±10%
Secure sensing range	安全感測範圍	0 to 8mm	0 to 12mm	0 to 4mm	0 to 6.4mm
standard sensing object	標準感測物體	Iron steel 30 X 30 X 1mm		Iron steel 18 X 18 X 1mm	
Hysteresis	磁滯距離	15% or less of operation distance			
Supply voltage	電源電壓	10-30 VDC			
current consumption	消耗電流	10mA or less			
Output current	輸出電流	Maximum sink current 150 mA			
Residual voltage	殘留電壓	1.5V or less (at 150mA sink current)			
Max. response frequency	反應頻率	400HZ	100HZ	600HZ	200HZ
Degree of protection	保護等級	IP67			
Temperature/Humidity	周圍溫度 / 濕度	-20 to +70°C/35 to 95% RH, Storage : -20 to +70°C/35 to 95% RH			
Material	外觀材質	Detection surface 輸出面: POM 塑膠 Housing 鋼管: Brass nickel Plated 黃銅鍍鎳			
Type	型式	Shielded 埋入式	Non shielded 露出式	Shielded 埋入式	Non shielded 露出式

### DC TUBULAR TYPE PROXIMITY SENSORS 直流圓柱型近接感測器

Item	Model No.	TS-1202	TS-1204	TS-0801	TS-0802
Max. operation distance	最大感測距離	2mm±10%	4mm±10%	1mm±10%	2mm±10%
Secure sensing range	安全感測範圍	0 to 1.6mm	0 to 3.2mm	0 to 0.8mm	0 to 1.6mm
standard sensing object	標準感測物體	Iron steel 12 X 12 X 1mm		Iron steel 8 X 8 X 1mm	
Hysteresis	磁滯距離	15% or less of operation distance			
Supply voltage	電源電壓	10-30 VDC			
current consumption	消耗電流	10mA or less			
Output current	輸出電流	Maximum sink current 150 mA			
Residual voltage	殘留電壓	1.5V or less (at 150mA sink current)			
Max. response frequency	反應頻率	1KHZ	600HZ	1.5KHZ	1KHZ
Degree of protection	保護等級	IP67			
Temperature/Humidity	周圍溫度 / 濕度	-20 to +70°C/35 to 95% RH, Storage : -20 to +70°C/35 to 95% RH			
Material	外觀材質	Detection surface 輸出面: POM 塑膠 Housing 鋼管: Brass nickel Plated 黃銅鍍鎳			
Type	型式	Shielded 埋入式	Non shielded 露出式	Shielded 埋入式	Non shielded 露出式

# ANEXO B. DATASHEET CONVERTIDOR DE FRECUENCIA A VOLTAJE LM2907N



February 1995

## LM2907/LM2917 Frequency to Voltage Converter

### General Description

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-8, LM2917-8) and its output swings to ground for a zero frequency input.

### Advantages

- Output swings to ground for zero frequency input
- Easy to use;  $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion (LM2917)

### Features

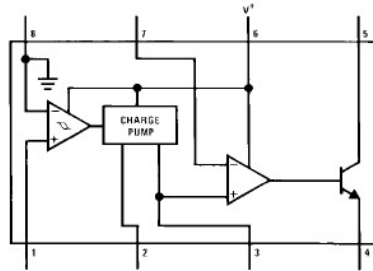
- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs

- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- $\pm 0.3\%$  linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above  $V_{CC}$  and below ground

### Applications

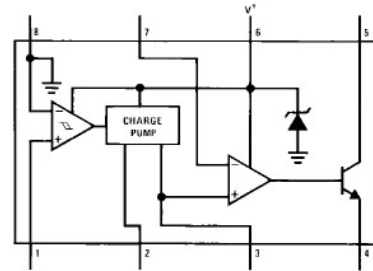
- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

### Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views



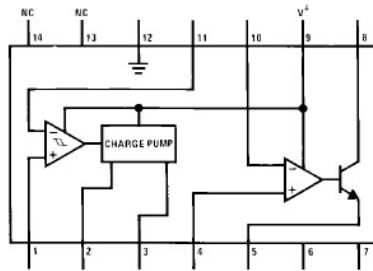
TL/H/7942-1

Order Number LM2907M-8 or LM2907N-8  
See NS Package Number M08A or N08E



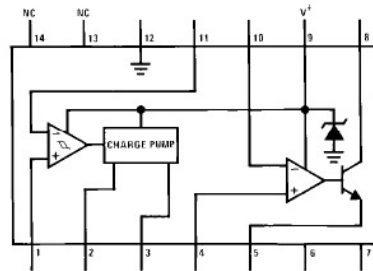
TL/H/7942-2

Order Number LM2917M-8 or LM2917N-8  
See NS Package Number M08A or N08E



TL/H/7942-3

Order Number LM2907N  
See NS Package Number N14A



TL/H/7942-4

Order Number LM2917M or LM2917N  
See NS Package Number M14A or N14A

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	28V
Supply Current (Zener Options)	25 mA
Collector Voltage	28V
Differential Input Voltage	
Tachometer	28V
Op Amp/Comparator	28V
Input Voltage Range	
Tachometer LM2907-8, LM2917-8	±28V
LM2907, LM2917	0.0V to +28V
Op Amp/Comparator	0.0V to +28V

### Power Dissipation

LM2907-8, LM2917-8	1200 mW
LM2907-14, LM2917-14 (See Note 1)	1580 mW

Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

### Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See AN-490 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

### Electrical Characteristics $V_{CC} = 12 V_{DC}$ , $T_A = 25^\circ C$ , see test circuit

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>TACHOMETER</b>						
	Input Thresholds	$V_{IN} = 250 \text{ mVp-p} @ 1 \text{ kHz (Note 2)}$	±10	±25	±40	mV
	Hysteresis	$V_{IN} = 250 \text{ mVp-p} @ 1 \text{ kHz (Note 2)}$		30		mV
	Offset Voltage LM2907/LM2917 LM2907-8/LM2917-8	$V_{IN} = 250 \text{ mVp-p} @ 1 \text{ kHz (Note 2)}$		3.5 5	10 15	mV mV
	Input Bias Current	$V_{IN} = \pm 50 \text{ mV}_{DC}$		0.1	1	μA
$V_{OH}$	Pin 2	$V_{IN} = +1.25 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		8.3		V
$V_{OL}$	Pin 2	$V_{IN} = -1.25 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		2.3		V
$I_2, I_3$	Output Current	$V_2 = V_3 = 6.0V$ (Note 4)	140	180	240	μA
$I_3$	Leakage Current	$I_2 = 0, V_3 = 0$			0.1	μA
K	Gain Constant	(Note 3)	0.9	1.0	1.1	
	Linearity	$f_{IN} = 1 \text{ kHz}, 5 \text{ kHz}, 10 \text{ kHz (Note 5)}$	-1.0	0.3	+1.0	%
<b>OP/AMP COMPARATOR</b>						
$V_{OS}$		$V_{IN} = 6.0V$		3	10	mV
$I_{BIAS}$		$V_{IN} = 6.0V$		50	500	nA
	Input Common-Mode Voltage		0		$V_{CC} - 1.5V$	V
	Voltage Gain			200		V/mV
	Output Sink Current	$V_C = 1.0$	40	50		mA
	Output Source Current	$V_E = V_{CC} - 2.0$		10		mA
	Saturation Voltage	$I_{SNK} = 5 \text{ mA}$		0.1	0.5	V
		$I_{SNK} = 20 \text{ mA}$			1.0	V
		$I_{SNK} = 50 \text{ mA}$		1.0	1.5	V

### Electrical Characteristics $V_{CC} = 12 V_{DC}$ $T_A = 25^\circ C$ , see test circuit (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>ZENER REGULATOR</b>						
	Regulator Voltage	$R_{DROG} = 470\Omega$		7.56		V
	Series Resistance			10.5	15	$\Omega$
	Temperature Stability			+1		mV/ $^\circ C$
	TOTAL SUPPLY CURRENT			3.8	6	mA

Note 1: For operation in ambient temperature above  $25^\circ C$ , the device must be derated based on a  $150^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $101^\circ C/W$  (junction to ambient for LM2907-8 and LM2917-8, and  $79^\circ C/W$  junction to ambient for LM2907-14 and LM2917-14).

Note 2: Hysteresis is the sum  $+V_{PH} - (-V_{PL})$ , offset voltage is their difference. See test circuit.

Note 3:  $V_{OH}$  is equal to  $\frac{1}{2} \times V_{CC} - 1 V_{DS}$ ,  $V_{OL}$  is equal to  $\frac{1}{2} \times V_{CC} - 1 V_{DS}$  therefore  $V_{OH} - V_{OL} = V_{CC}/2$ . The difference,  $V_{OH} - V_{OL}$ , and the mirror gain,  $b/b_0$ , are the two factors that cause the tachometer gain constant to vary from 1.0.

Note 4: Be sure when choosing the time constant  $R1 \times C1$  that  $R1$  is such that the maximum anticipated output voltage at pin 3 can be reached with  $I_B \times R1$ . The maximum value for  $R1$  is limited by the output resistance of pin 3 which is greater than  $10 M\Omega$  typically.

Note 5: Nonlinearity is defined as the deviation of  $V_{OUT}$  @ pin 3) for  $f_{IN} = 5$  kHz from a straight line defined by the  $V_{OUT}$  @ 1 kHz and  $V_{OUT}$  @ 10 kHz.  $C1 = 1000 \mu F$ ,  $R1 = 68k$  and  $C2 = 0.22$  mFD.

### General Description (Continued)

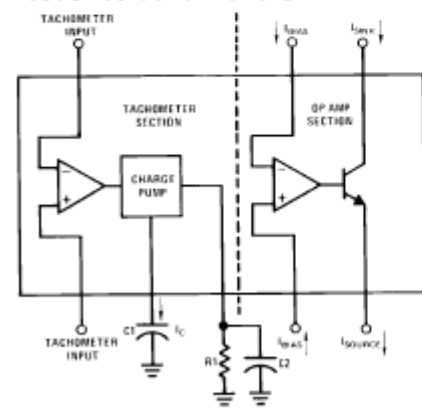
The op amp/comparator is fully compatible with the tachometer and has a floating transistor as its output. This feature allows either a ground or supply referred load of up to 50 mA. The collector may be taken above  $V_{CC}$  up to a maximum  $V_{CE}$  of 28V.

The two basic configurations offered include an 8-pin device with a *ground referenced tachometer* input and an internal connection between the tachometer output and the op amp non-inverting input. This version is well suited for single speed or frequency switching or fully buffered frequency to voltage conversion applications.

The more versatile configurations provide differential tachometer input and uncommitted op amp inputs. With this version the tachometer input may be floated and the op amp becomes suitable for active filter conditioning of the tachometer output.

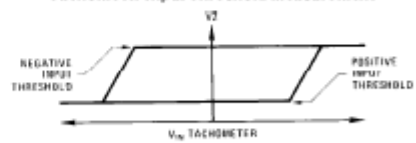
Both of these configurations are available with an active shunt regulator connected across the power leads. The regulator clamps the supply such that stable frequency to voltage and frequency to current operations are possible with any supply voltage and a suitable resistor.

### Test Circuit and Waveform



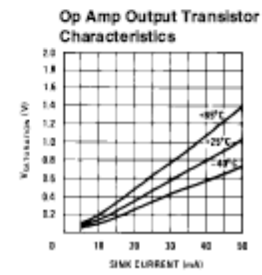
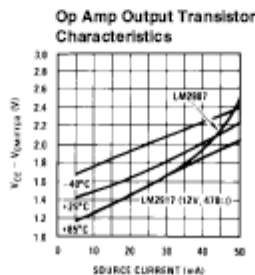
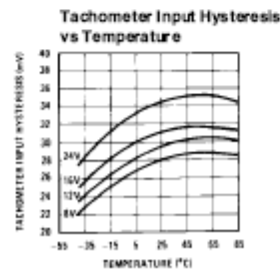
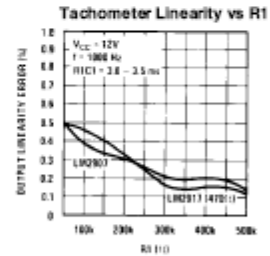
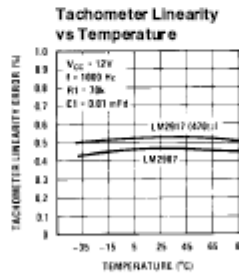
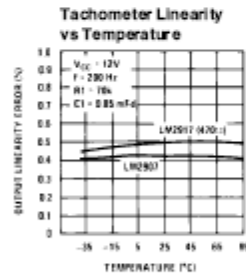
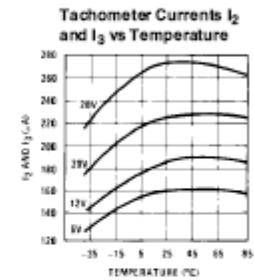
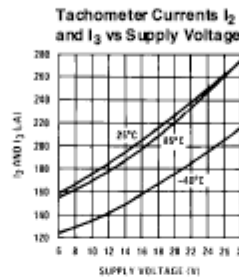
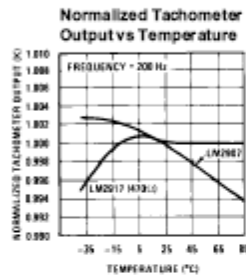
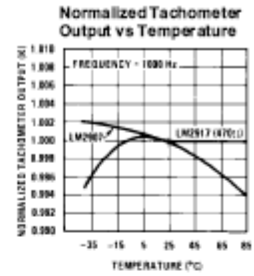
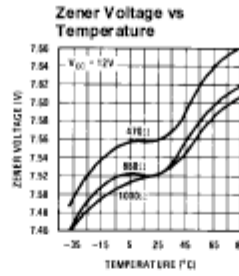
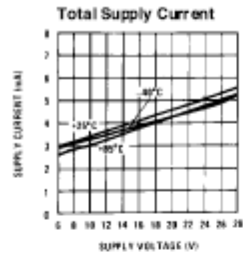
TL/H7942-6

### Tachometer Input Threshold Measurement



TL/H7942-7

## Typical Performance Characteristics



TL147942-5



## Applications Information

The LM2907 series of tachometer circuits is designed for minimum external part count applications and maximum versatility. In order to fully exploit its features and advantages let's examine its theory of operation. The first stage of operation is a differential amplifier driving a positive feedback flip-flop circuit. The input threshold voltage is the amount of differential input voltage at which the output of this stage changes state. Two options (LM2907-8, LM2917-8) have one input internally grounded so that an input signal must swing above and below ground and exceed the input thresholds to produce an output. This is offered specifically for magnetic variable reluctance pickups which typically provide a single-ended ac output. This single input is also fully protected against voltage swings to  $\pm 28\text{V}$ , which are easily attained with these types of pickups.

The differential input options (LM2907, LM2917) give the user the option of setting his own input switching level and still have the hysteresis around that level for excellent noise rejection in any application. Of course in order to allow the inputs to attain common-mode voltages above ground, input protection is removed and neither input should be taken outside the limits of the supply voltage being used. It is very important that an input not go below ground without some resistance in its lead to limit the current that will then flow in the epi-substrate diode.

Following the input stage is the charge pump where the input frequency is converted to a dc voltage. To do this requires one timing capacitor, one output resistor, and an integrating or filter capacitor. When the input stage changes state (due to a suitable zero crossing or differential voltage on the input) the timing capacitor is either charged or discharged linearly between two voltages whose difference is  $V_{CC}/2$ . Then in one half cycle of the input frequency or a time equal to  $1/2 f_{IN}$  the change in charge on the timing capacitor is equal to  $V_{CC}/2 \times C1$ . The average amount of current pumped into or out of the capacitor then is:

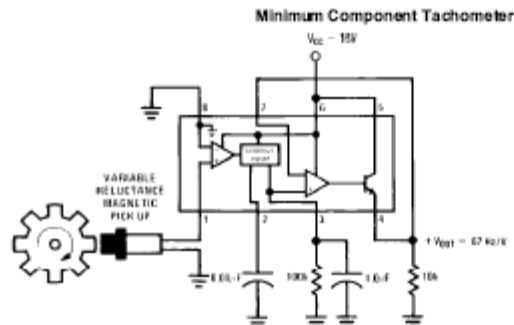
$$\frac{\Delta Q}{T} = I_C(\text{AVG}) = C1 \times \frac{V_{CC}}{2} \times (2f_{IN}) = V_{CC} \times f_{IN} \times C1$$

The output circuit mirrors this current very accurately into the load resistor R1, connected to ground, such that if the pulses of current are integrated with a filter capacitor, then  $V_O = I_C \times R1$ , and the total conversion equation becomes:

$$V_O = V_{CC} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K$$

Where K is the gain constant—typically 1.0.

## Typical Applications



The size of C2 is dependent only on the amount of ripple voltage allowable and the required response time.

### CHOOSING R1 AND C1

There are some limitations on the choice of R1 and C1 which should be considered for optimum performance. The timing capacitor also provides internal compensation for the charge pump and should be kept larger than 500 pF for very accurate operation. Smaller values can cause an error current on R1, especially at low temperatures. Several considerations must be met when choosing R1. The output current at pin 3 is internally fixed and therefore  $V_O/R1$  must be less than or equal to this value. If R1 is too large, it can become a significant fraction of the output impedance at pin 3 which degrades linearity. Also output ripple voltage must be considered and the size of C2 is affected by R1. An expression that describes the ripple content on pin 3 for a single R1C2 combination is:

$$V_{\text{RIPPLE}} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left( 1 - \frac{V_{CC} \times f_{IN} \times C1}{I_2} \right) \text{pk-pk}$$

It appears R1 can be chosen independent of ripple, however response time, or the time it takes  $V_{OUT}$  to stabilize at a new voltage increases as the size of C2 increases, so a compromise between ripple, response time, and linearity must be chosen carefully.

As a final consideration, the maximum attainable input frequency is determined by  $V_{CC}$ , C1 and  $I_2$ :

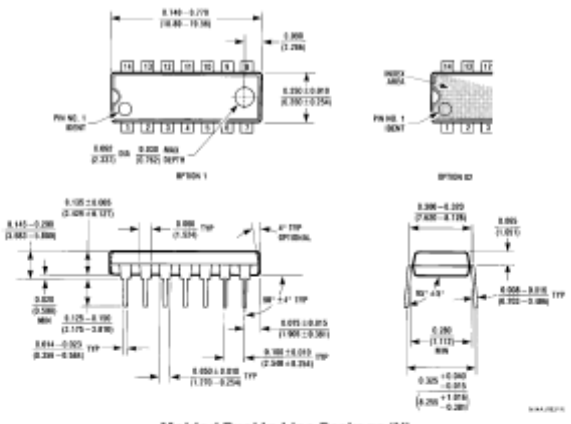
$$f_{\text{MAX}} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}}$$

### USING ZENER REGULATED OPTIONS (LM2917)

For those applications where an output voltage or current must be obtained independent of supply voltage variations, the LM2917 is offered. The most important consideration in choosing a dropping resistor from the unregulated supply to the device is that the tachometer and op amp circuitry alone require about 3 mA at the voltage level provided by the zener. At low supply voltages there must be some current flowing in the resistor above the 3 mA circuit current to operate the regulator. As an example, if the raw supply varies from 9V to 16V, a resistance of 470Ω will minimize the zener voltage variation to 160 mV. If the resistance goes under 400Ω or over 600Ω the zener variation quickly rises above 200 mV for the same input variation.

TL74792-0

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)




**Molded Dual-In-Line Package (N)**  
**Order Number LM2907N or LM2917N**  
**NS Package Number N14A**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 <p><b>National Semiconductor Corporation</b>                      1111 West Barkin Road                      Arlington, TX 76017                      Tel: (800) 272-9959                      Fax: 1 (800) 737-7018</p>	<p><b>National Semiconductor Europe</b>                      Fax: (+49) 0-180-530 05 06                      Email: <a href="mailto:order@nl.sem2n.com">order@nl.sem2n.com</a>                      Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 05 05                      English Tel: (+49) 0-180-532 70 32                      Francais Tel: (+49) 0-180-532 93 58                      Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 00</p>	<p><b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b>                      12th Floor, Straits Block,                      Ocean Centre, 5 Canton Rd,                      Tsimshatsui, Kowloon                      Hong Kong                      Tel: (852) 2737-1600                      Fax: (852) 2736-9999</p>	<p><b>National Semiconductor Japan Ltd.</b>                      Tel: 01-043-200-2100                      Fax: 01-043-200-2400</p>
--	--	--	---

National does not assume any responsibility for use of any circuit described, no circuit patent is being applied and National reserves the right to change specifications without notice to change accuracy and specifications.

# ANEXO C. DATASHEET TEMPORIZADOR LM555



February 2000

## LM555 Timer

### General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

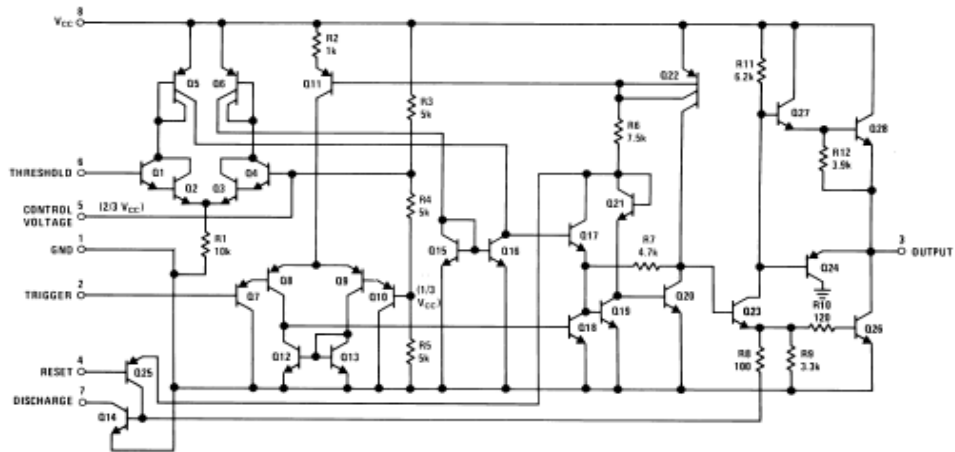
### Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

### Applications

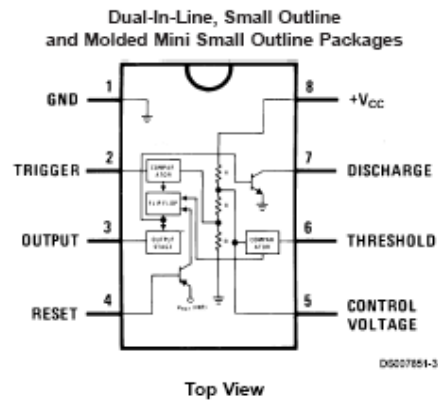
- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

### Schematic Diagram



DS007851-1

## Connection Diagram



## Ordering Information

Package	Part Number	Package Marking	Media Transport	NSC Drawing
8-Pin SOIC	LM555CM	LM555CM	Rails	M08A
	LM555CMX	LM555CM	2.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MSOP	LM555CMM	Z55	1k Units Tape and Reel	MUA08A
	LM555CMMX	Z55	3.5k Units Tape and Reel	
8-Pin MDIP	LM555CN	LM555CN	Rails	N09E

**Absolute Maximum Ratings** (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 3)	
LM555CM, LM555CN	1180 mW
LM555CMM	613 mW
Operating Temperature Ranges	
LM555C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

## Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 Seconds)	280°C
Small Outline Packages (SOIC and MSOP)	
Vapor Phase (60 Seconds)	215°C
Infrared (15 Seconds)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

**Electrical Characteristics** (Notes 1, 2)

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = +5\text{V}$  to  $+15\text{V}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$ , $R_L = \infty$ $V_{CC} = 15\text{V}$ , $R_L = \infty$ (Low State) (Note 4)		3 10	8 15	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$ , $C = 0.1\mu\text{F}$ , (Note 5)		1		%
Drift with Temperature			50		ppm/°C
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1		%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$ , $C = 0.1\mu\text{F}$ , (Note 5)		2.25		%
Drift with Temperature			150		ppm/°C
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$		5 1.67		V V
Trigger Current			0.5	0.9	$\mu\text{A}$
Reset Voltage		0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			1	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$ , $I_T = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$ , $I_T = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

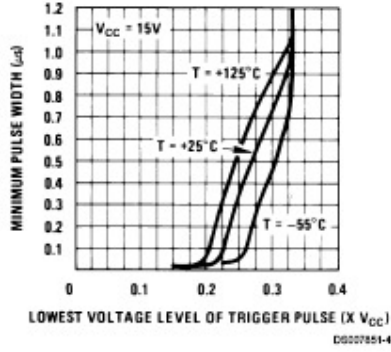
**Electrical Characteristics** (Notes 1, 2) (Continued)(T<sub>A</sub> = 25°C, V<sub>CC</sub> = +5V to +15V, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		LM555C			
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	V <sub>CC</sub> = 15V				
	I <sub>SINK</sub> = 10mA		0.1	0.25	V
	I <sub>SINK</sub> = 50mA		0.4	0.75	V
	I <sub>SINK</sub> = 100mA		2	2.5	V
	I <sub>SINK</sub> = 200mA		2.5		V
	V <sub>CC</sub> = 5V				
	I <sub>SINK</sub> = 8mA				V
Output Voltage Drop (High)	I <sub>SOURCE</sub> = 200mA, V <sub>CC</sub> = 15V		12.5		V
	I <sub>SOURCE</sub> = 100mA, V <sub>CC</sub> = 15V	12.75	13.3		V
	V <sub>CC</sub> = 5V	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100		ns
Fall Time of Output			100		ns

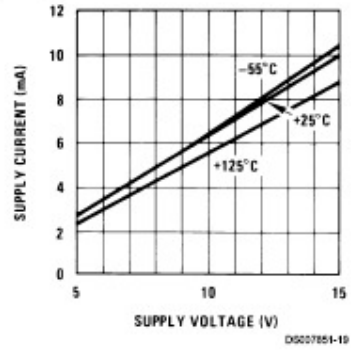
**Note 1:** All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.**Note 3:** For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a +150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 106°C/W (DIP), 170°C/W (SO-8), and 204°C/W (MSOP) junction to ambient.**Note 4:** Supply current when output high typically 1 mA less at V<sub>CC</sub> = 5V.**Note 5:** Tested at V<sub>CC</sub> = 5V and V<sub>CC</sub> = 15V.**Note 6:** This will determine the maximum value of R<sub>A</sub> + R<sub>B</sub> for 15V operation. The maximum total (R<sub>A</sub> + R<sub>B</sub>) is 20MΩ.**Note 7:** No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.**Note 8:** Refer to RET3555X drawing of military LM555H and LM555J versions for specifications.

### Typical Performance Characteristics

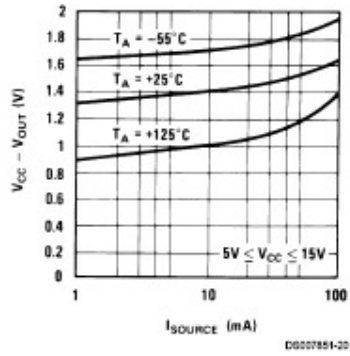
Minimum Pulse Width Required for Triggering



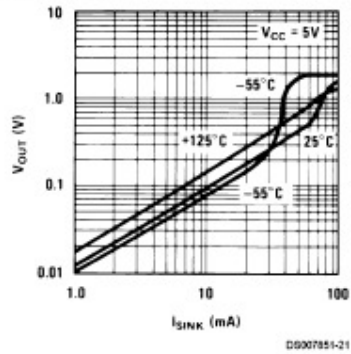
Supply Current vs. Supply Voltage



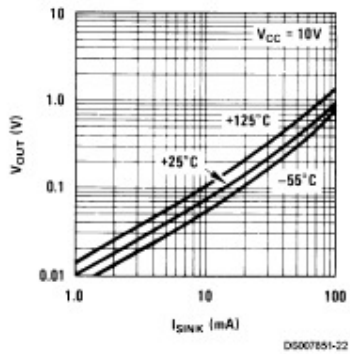
High Output Voltage vs. Output Source Current



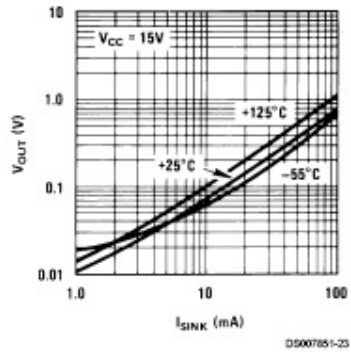
Low Output Voltage vs. Output Sink Current



Low Output Voltage vs. Output Sink Current

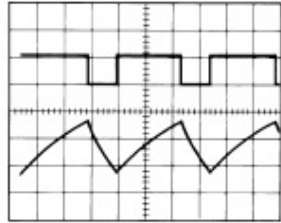


Low Output Voltage vs. Output Sink Current



**Applications Information** (Continued)

Figure 5 shows the waveforms generated in this mode of operation.



$V_{CC} = 5V$  Top Trace: Output 5V/Div.  
 TIME = 20 $\mu$ s/DIV. Bottom Trace: Capacitor Voltage 1V/Div.  
 $R_A = 3.9k\Omega$   
 $R_B = 3k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

**FIGURE 5. Astable Waveforms**

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$

And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$

Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$

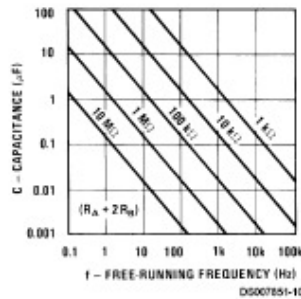
The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B) C}$$

Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.

The duty cycle is:

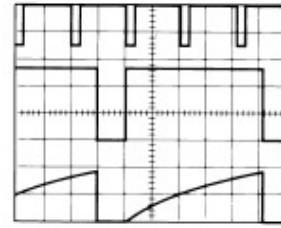
$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$



**FIGURE 6. Free Running Frequency**

**FREQUENCY DIVIDER**

The monostable circuit of Figure 1 can be used as a frequency divider by adjusting the length of the timing cycle. Figure 7 shows the waveforms generated in a divide by three circuit.

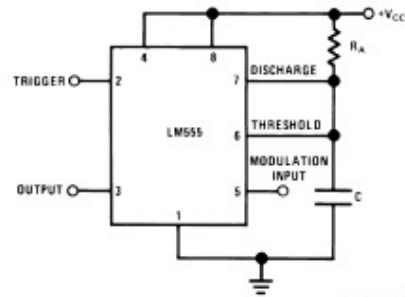


$V_{CC} = 5V$  Top Trace: Input 4V/Div.  
 TIME = 20 $\mu$ s/DIV. Middle Trace: Output 2V/Div.  
 $R_A = 9.1k\Omega$  Bottom Trace: Capacitor 2V/Div.  
 $C = 0.01\mu F$

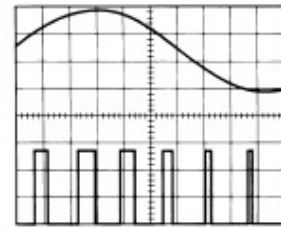
**FIGURE 7. Frequency Divider**

**PULSE WIDTH MODULATOR**

When the timer is connected in the monostable mode and triggered with a continuous pulse train, the output pulse width can be modulated by a signal applied to pin 5. Figure 8 shows the circuit, and in Figure 9 are some waveform examples.



**FIGURE 8. Pulse Width Modulator**

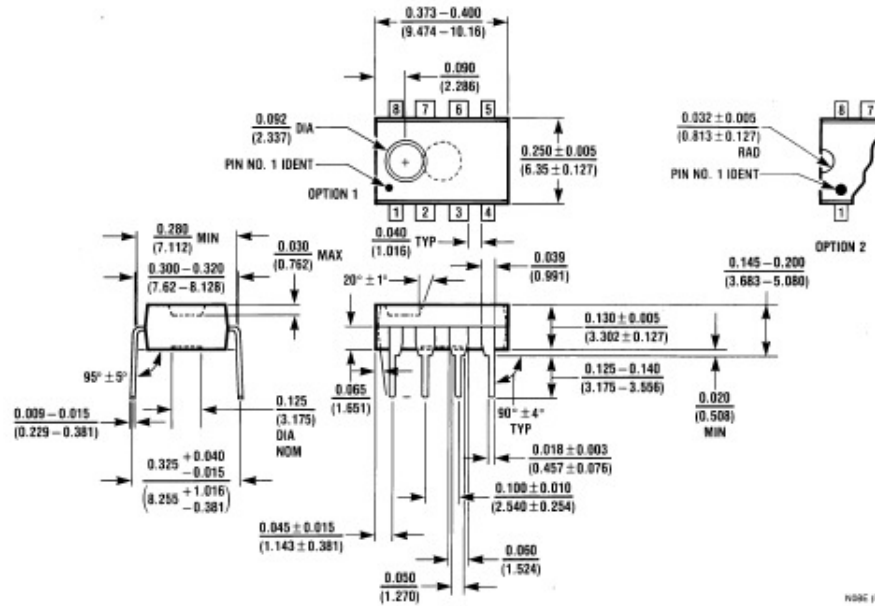


$V_{CC} = 5V$  Top Trace: Modulation 1V/Div.  
 TIME = 0.2 ms/DIV. Bottom Trace: Output Voltage 2V/Div.  
 $R_A = 9.1k\Omega$   
 $C = 0.01\mu F$

**FIGURE 9. Pulse Width Modulator**



**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



**Molded Dual-In-Line Package (N)  
NS Package Number N08E**

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

 **National Semiconductor Corporation**  
Americas  
Tel: 1-800-272-9959  
Fax: 1-800-737-7018  
Email: support@nsc.com  
www.national.com

**National Semiconductor Europe**  
Fax: +49 (0) 180-630 85 85  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 5209  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 51 6790

**National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group**  
Tel: 65-2544455  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
Tel: 81-3-5639-7560  
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

## ANEXO D. DATASHEET SCR TYN612



### TN12, TS12 and TYNx12 Series

SENSITIVE & STANDARD

12A SCRs

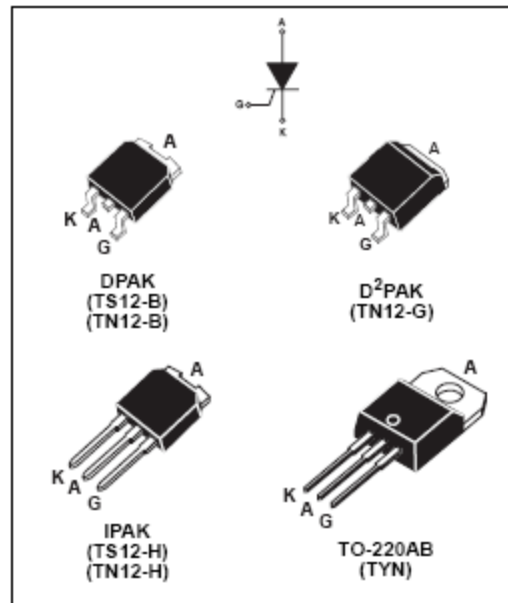
#### MAIN FEATURES:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	12	A
$V_{DRM}/V_{RRM}$	600 to 1000	V
$I_{GT}$	0.2 to 15	mA

#### DESCRIPTION

Available either in sensitive (TS12) or standard (TYN, TN12...) gate triggering levels, the 12A SCR series is suitable to fit all modes of control found in applications such as overvoltage crowbar protection, motor control circuits in power tools and kitchen aids, in-rush current limiting circuits, capacitive discharge ignition, voltage regulation circuits...

Available in through-hole or surface-mount packages, they provide an optimized performance in a limited space area.



#### ABSOLUTE RATINGS (limiting values)

Symbol	Parameter		Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (180° conduction angle)	$T_c = 105^\circ\text{C}$	12	A
$I_{T(AV)}$	Average on-state current (180° conduction angle)	$T_c = 105^\circ\text{C}$	8	A
			DPAK / IPAK	D <sup>2</sup> PAK / TO-220AB
$I_{TSM}$	Non repetitive surge peak on-state current	$t_p = 8.3 \text{ ms}$	115	146
		$t_p = 10 \text{ ms}$	110	140
$I^2 t$	I <sup>2</sup> t Value for fusing	$t_p = 10 \text{ ms}$	60	98
$di/dt$	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$ , $t_r \leq 100 \text{ ns}$	$F = 60 \text{ Hz}$	50	A/ $\mu\text{s}$
$I_{GM}$	Peak gate current	$t_p = 20 \mu\text{s}$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$	1	W
$T_{stg}$	Storage junction temperature range		- 40 to + 150	$^\circ\text{C}$
$T_j$	Operating junction temperature range		- 40 to + 125	$^\circ\text{C}$
$V_{RGM}$	Maximum peak reverse gate voltage (for TN12 & TYN)		5	V

## TN12, TS12 and TYNx12 Series

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>j</sub> = 25°C, unless otherwise specified)

#### ■ SENSITIVE

Symbol	Test Conditions		TS1220	Unit
I <sub>GT</sub>	V <sub>D</sub> = 12 V R <sub>L</sub> = 140 Ω	MAX.	200	μA
V <sub>GT</sub>		MAX.	0.8	V
V <sub>GD</sub>	V <sub>D</sub> = V <sub>DRM</sub> R <sub>L</sub> = 3.3 kΩ R <sub>GK</sub> = 1 kΩ T <sub>j</sub> = 125°C	MIN.	0.1	V
V <sub>RG</sub>	I <sub>RG</sub> = 10 μA	MIN.	8	V
I <sub>H</sub>	I <sub>T</sub> = 50 mA R <sub>GK</sub> = 1 kΩ	MAX.	5	mA
I <sub>L</sub>	I <sub>G</sub> = 1 mA R <sub>GK</sub> = 1 kΩ	MAX.	8	mA
dV/dt	V <sub>D</sub> = 67 % V <sub>DRM</sub> R <sub>GK</sub> = 220 Ω T <sub>j</sub> = 125°C	MIN.	5	V/μs
V <sub>TM</sub>	I <sub>TM</sub> = 24 A t <sub>p</sub> = 380 μs T <sub>j</sub> = 25°C	MAX.	1.6	V
V <sub>th</sub>	Threshold voltage T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.	0.85	V
R <sub>d</sub>	Dynamic resistance T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.	30	mΩ
I <sub>DRM</sub> I <sub>RDM</sub>	V <sub>DRM</sub> = V <sub>RDM</sub> R <sub>GK</sub> = 220 Ω	T <sub>j</sub> = 25°C T <sub>j</sub> = 125°C	MAX. 5 2	μA mA

#### ■ STANDARD

Symbol	Test Conditions	TN1215		TYN		Unit	
		B/H	G	x12T	x12		
I <sub>GT</sub>	V <sub>D</sub> = 12 V R <sub>L</sub> = 33 Ω	MIN.	2	0.5	2	mA	
		MAX.	15	5	15		
V <sub>GT</sub>		MAX.	1.3			V	
V <sub>GD</sub>	V <sub>D</sub> = V <sub>DRM</sub> R <sub>L</sub> = 3.3 kΩ T <sub>j</sub> = 125°C	MIN.	0.2			V	
I <sub>H</sub>	I <sub>T</sub> = 500 mA Gate open	MAX.	40	30	15	30	mA
I <sub>L</sub>	I <sub>G</sub> = 1.2 I <sub>GT</sub>	MAX.	80	60	30	60	mA
dV/dt	V <sub>D</sub> = 67 % V <sub>DRM</sub> Gate open T <sub>j</sub> = 125°C	MIN.	200		40	200	V/μs
V <sub>TM</sub>	I <sub>TM</sub> = 24 A t <sub>p</sub> = 380 μs T <sub>j</sub> = 25°C	MAX.	1.6				V
V <sub>th</sub>	Threshold voltage T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.	0.85				V
R <sub>d</sub>	Dynamic resistance T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.	30				mΩ
I <sub>DRM</sub> I <sub>RDM</sub>	V <sub>DRM</sub> = V <sub>RDM</sub>	T <sub>j</sub> = 25°C	MAX.		5		μA
		T <sub>j</sub> = 125°C	MAX.		2		mA

### THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter	Value	Unit	
R <sub>th(j-c)</sub>	Junction to case (DC)	1.3	°C/W	
R <sub>th(j-a)</sub>	Junction to ambient	TO-220AB	60	°C/W
		IPAK	100	
	S = 1 cm <sup>2</sup>	D <sup>2</sup> PAK	45	
	S = 0.5 cm <sup>2</sup>	DPAK	70	

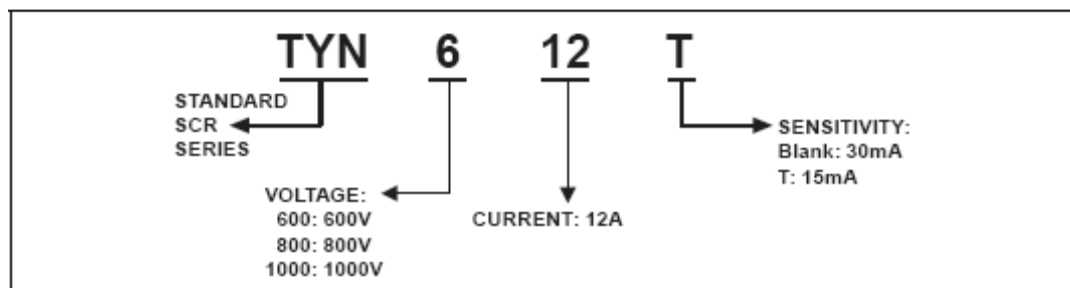
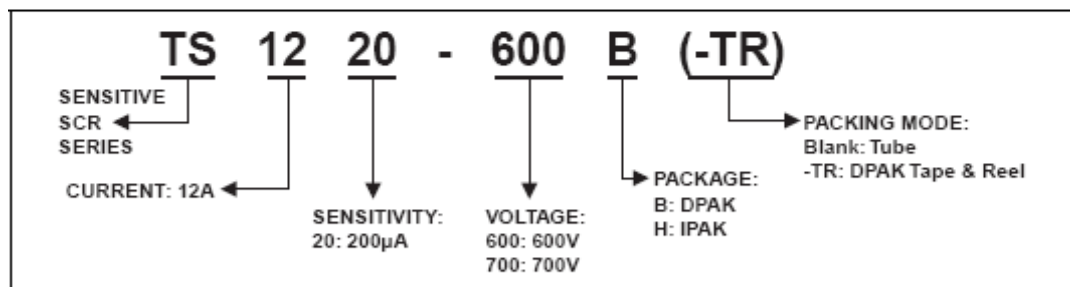
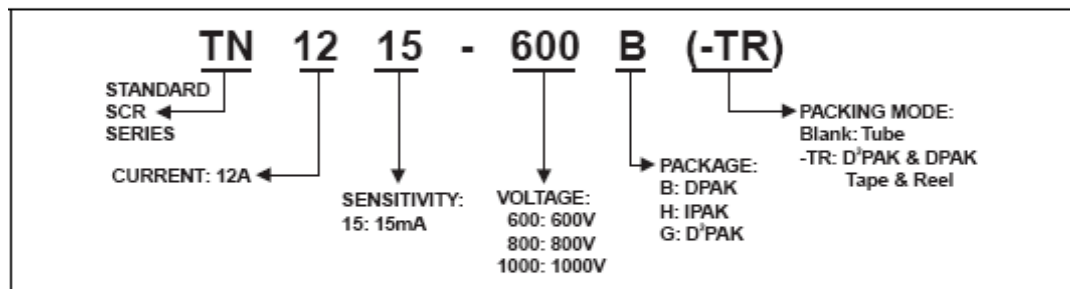
S = Copper surface under tab

## TN12, TS12 and TYNx12 Series

### PRODUCT SELECTOR

Part Number	Voltage (xxx)				Sensitivity	Package
	600 V	700 V	800 V	1000 V		
TN1215-xxxB	X		X		15 mA	DPAK
TN1215-xxxG	X		X	X	15 mA	D <sup>2</sup> PAK
TN1215-xxxH	X		X		15 mA	IPAK
TS1220-xxxB	X	X			0.2 mA	DPAK
TS1220-xxxH	X	X			0.2 mA	IPAK
TYNx12	X		X	X	30 mA	TO-220AB
TYNx12T	X		X	X	15 mA	TO-220AB

### ORDERING INFORMATION



## TN12, TS12 and TYNx12 Series

### OTHER INFORMATION

Part Number	Marking	Weight	Base Quantity	Packing mode
TN1215-x00B	TS1215x00	0.3 g	75	Tube
TN1215-x00B-TR	TS1215x00	0.3 g	2500	Tape & reel
TN1215-x00G	TS1215x00G	1.5 g	50	Tube
TN1215-x00G-TR	TS1215x00G	1.5 g	1000	Tape & reel
TN1215-x00H	TN1215x00	0.4 g	75	Tube
TS1220-x00B	TS1220x00	0.3 g	75	Tube
TS1220-x00B-TR	TS1220x00	0.3 g	2500	Tape & reel
TS1220-x00H	TS1220x00	0.4 g	75	Tube
TYNx12	TYNx12	2.3 g	250	Bulk
TYNx12RG	TYNx12	2.3 g	50	Tube
TYNx12T	TYNx12T	2.3 g	250	Bulk
TYNx12TRG	TYNx12T	2.3 g	50	Tube

Note: x = voltage

Fig. 1: Maximum average power dissipation versus average on-state current.

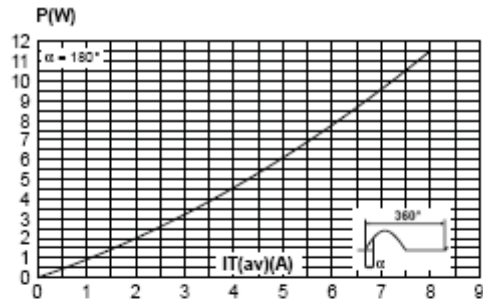


Fig. 2-1: Average and D.C. on-state current versus case temperature.

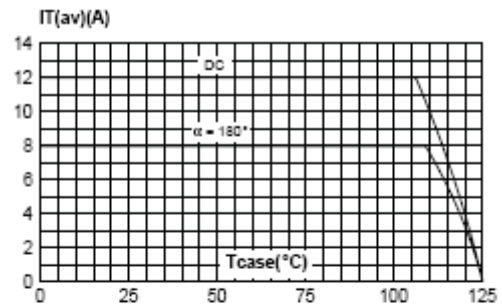


Fig. 2-2: Average and D.C. on-state current versus ambient temperature (device mounted on FR4 with recommended pad layout) (DPAK and D<sup>2</sup>PAK).

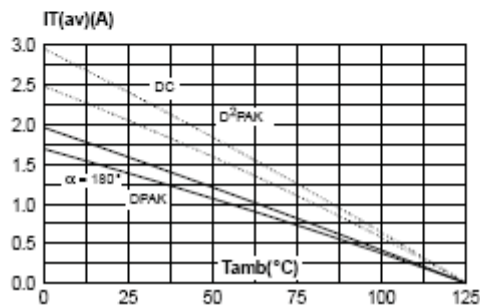
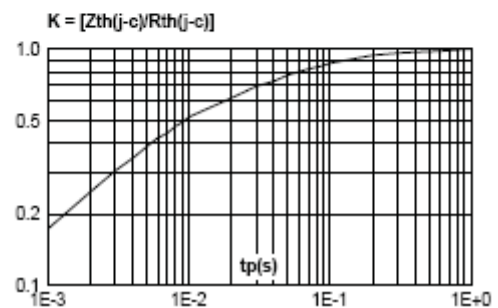


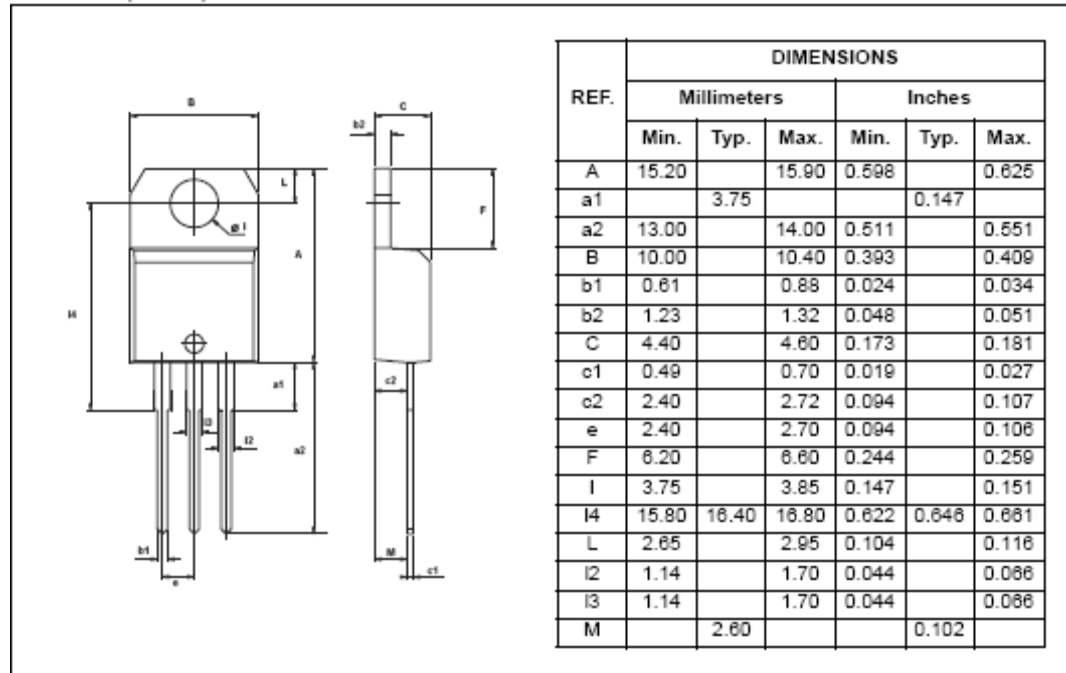
Fig. 3-1: Relative variation of thermal impedance junction to case versus pulse duration.



## TN12, TS12 and TYNx12 Series

### PACKAGE MECHANICAL DATA

TO-220AB (Plastic)



Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2000 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES  
Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco  
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

<http://www.st.com>

# ANEXO E. DATASHEET DIODO DE POTENCIA 10A6

## 10A005 THRU 10A10

10.0 AMP SILICON RECTIFIERS

---

### FEATURES

- \* Low forward voltage drop
- \* High current capability
- \* High reliability
- \* High surge current capability

### MECHANICAL DATA

- \* Case: Molded plastic
- \* Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- \* Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, method 208 guaranteed
- \* Polarity: Color band denotes cathode end
- \* Mounting position: Any
- \* Weight: 1.65 grams

**VOLTAGE RANGE**  
50 TO 1000 Volts

**CURRENT**  
10.0 Amperes

Dimensions in inches and (millimeters)

---

### MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating 25°C ambient temperature unless otherwise specified.  
Single phase half wave, 60Hz, resistive or inductive load.  
For capacitive load, derate current by 20%.

TYPE NUMBER	10A05	10A1	10A2	10A4	10A6	10A8	10A10	UNITS	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V	
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V	
Maximum Average Forward Rectified Current									
.375" (9.5mm) Lead Length at Ta=60°C								10.0	A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)								400	A
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 10.0A								1.0	V
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage								10.0	µA
at Ta=25°C								400	µA
at Ta=100°C								100	µF
Typical Junction Capacitance (Note 1)								10	°C/W
Typical Thermal Resistance RθJA (Note 2)								-65—+150	°C
Operating and Storage Temperature Range T <sub>a</sub> , T <sub>stg</sub>									

NOTES:

1. Measured at 1MHz and applied reverse voltage of 4.0V D.C.
2. Thermal Resistance from Junction to Ambient, .375" (9.5mm) lead length.

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (10A005 THRU 10A10)

FIG. 1-TYPICAL FORWARD CHARACTERISTICS

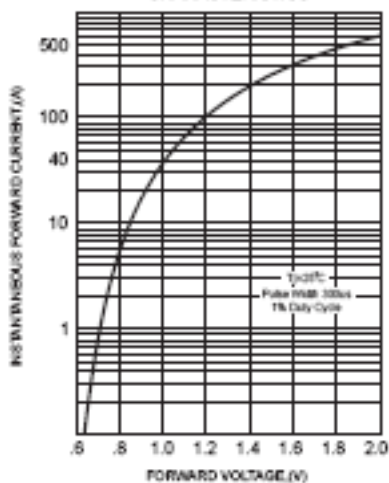


FIG. 2-TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

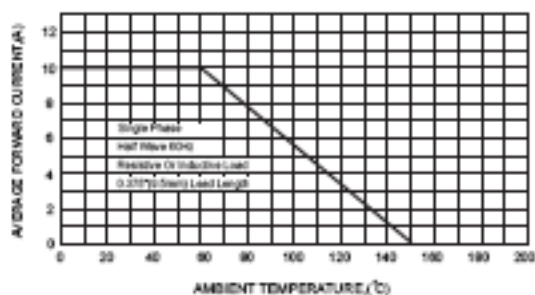


FIG. 4-MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

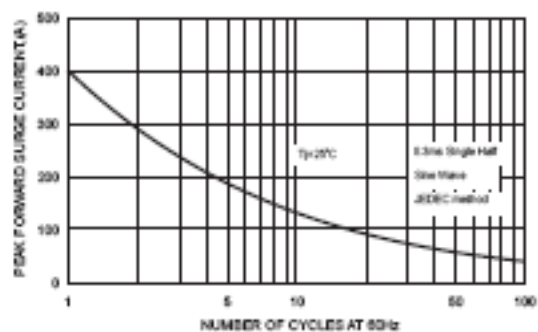


FIG. 3 - TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

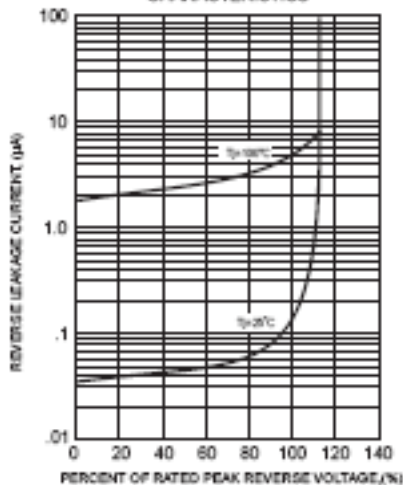
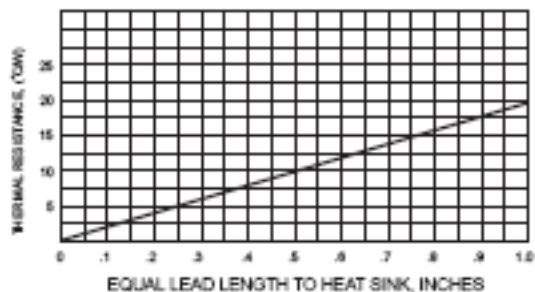


FIG. 5 - TYPICAL THERMAL RESISTANCE VS. LEAD LENGTH





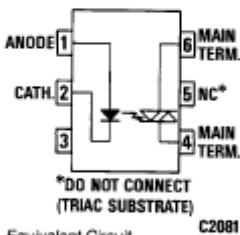
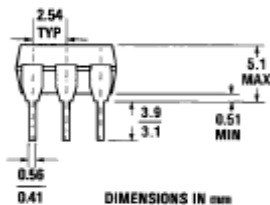
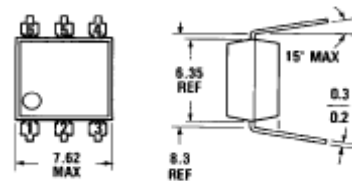
# ANEXO F. DATASHEET OPTOACOPLADOR MOC3011



## NON-ZERO-CROSSING TRIACS

### MOC3009 MOC3010 MOC3011 MOC3012

#### PACKAGE DIMENSIONS



Equivalent Circuit

C2081

ST1603-02

#### DESCRIPTION

The MOC3009, MOC3010, MOC3011 and MOC3012 are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. This series is designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 120 VAC operations.

#### FEATURES

- Low input current required (typically 5mA—MOC3011)
- High isolation voltage—minimum 7500 VAC peak
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File E90700

#### APPLICATIONS

- Triac driver
- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Motor control
- Solid state relay

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

TOTAL PACKAGE	
Storage temperature	-55°C to 150°C
Operating temperature	-40°C to 100°C
Lead temperature (soldering 10 sec)	260°C
Withstand test voltage	7500 VAC Peak (50-60 Hz)

INPUT DIODE	
Forward DC current	50 mA
Reverse voltage	3 V
Peak forward current (1 μs pulse, 300 pps)	3.0 A
Power dissipation (25°C ambient)	100 mW
Derate linearly (above 25°C)	1.33 mW/°C

OUTPUT DRIVER	
Off-state output terminal voltage	250 volts
On-state RMS current (Full cycle, 50 to 60 Hz)	T <sub>a</sub> = 25°C: 100 mA T <sub>a</sub> = 70°C: 50 mA
Peak nonrepetitive surge current (PW=10 ms, DC=10%)	1.2 A
Total power dissipation @ T <sub>a</sub> = 25°C	300 mW
Derate above 25°C	4.0 mW/°C

2-55

**ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS** (25°C Temperature Unless Otherwise Specified)

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
<b>INPUT DIODE</b>						
Forward voltage	$V_f$		1.2	1.50	V	$I_f = 10 \text{ mA}$
Junction capacitance	$C_j$		50		pF	$V_f = 0 \text{ V}$ , $f = 1 \text{ MHz}$
Reverse leakage current	$I_r$			100	$\mu\text{A}$	$V_r = 3.0 \text{ V}$
<b>OUTPUT DETECTOR</b>						
Peak blocking current, either direction	$I_{DM}$	—		100	nA	$V_{DM} = 250 \text{ V}$ , Note 1
Peak on-state voltage, either direction	$V_{DM}$	—	2.0	3.0	Volts	$I_{DM} = 100 \text{ mA Peak}$

Note 1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.

**TRANSFER CHARACTERISTICS**

DC CHARACTERISTICS	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS	
LED trigger current (current required to latch output)	MOC3009	$I_{T1}$	—	15.0	30	mA	Main terminal voltage = 3.0 V, $R_L = 150\Omega$
	MOC3010	$I_{T2}$	—	10.0	15	mA	
	MOC3011	$I_{T3}$	—	5	10	mA	
	MOC3012	$I_{T4}$	—	—	5	mA	
Holding current	$I_H$	—	100	—	$\mu\text{A}$	Either direction	

**TRANSFER CHARACTERISTICS**

CHARACTERISTICS	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
<b>AC dv/dt RATING</b> Critical rate of rise of off-state voltage	dv/dt	—	12.0	—	V/ $\mu\text{s}$	Static dv/dt (see Fig. 4)
Critical rate of rise of commutating voltage	dv/dt	—	0.2	—	V/ $\mu\text{s}$	Commutating dv/dt $I_{DM} = 15 \text{ mA}$ (see Fig. 4)

**ISOLATION CHARACTERISTICS**

CHARACTERISTICS	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
Isolation voltage	$V_{iso}$	5300			$V_{AC,RMS}$	$I_{CO} \leq 1 \mu\text{A}$ , 1 Minute
	$V_{iso}$	7500			$V_{AC,PEAK}$	$I_{CO} \leq 1 \mu\text{A}$ , 1 Minute
Isolation resistance	$R_{iso}$	$10^{11}$			ohms	$V_{CO} = 500 \text{ VDC}$
Isolation capacitance	$C_{iso}$		0.5		pF	$f = 1 \text{ MHz}$

**TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTIC CURVES**

(25°C Free Air Temperature Unless Otherwise Specified)

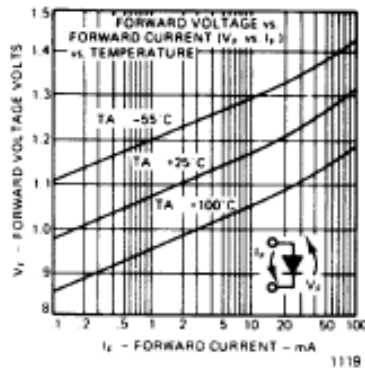


Fig. 1. Forward Voltage Drop vs. Forward Current

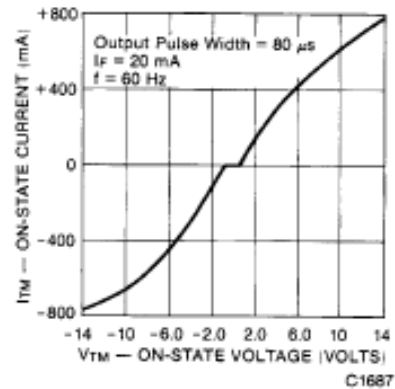


Fig. 2. On-State Characteristics

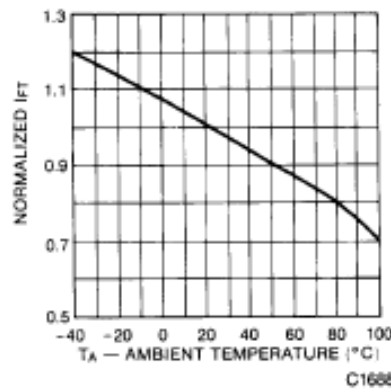


Fig. 3. Trigger Current vs. Temperature

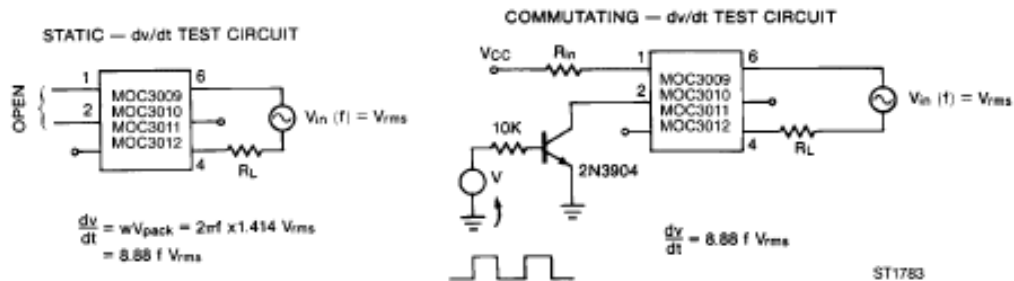


Fig. 4.  $dv/dt$  Test Circuits

