

APLICACIÓN DEL PLC SIEMENS S7-200 PARA EL POSICIONAMIENTO
AUTOMATICO EN UNA MESA XY MONITOREADO POR PANTALLA TACTIL.

YAMIR ARLEY CORREA JAIMES
RONALD DANIEL CARRILLO CIPAGAUTA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACION
BUCARAMANGA

2010

APLICACIÓN DEL PLC SIEMENS S7-200 PARA EL POSICIONAMIENTO
AUTOMATICO EN UNA MESA XY MONITOREADO POR PANTALLA TACTIL.

YAMIR ARLEY CORREA JAIMES
RONALD DANIEL CARRILLO CIPAGAUTA

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director:
JUAN CARLOS VILLAMIZAR RINCON
MSc. En Potencia Eléctrica

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ADMINISTRACION
BUCARAMANGA

2010

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga 22 de Abril del 2010

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	10
1. OBJETIVOS	121
1.1 OBJETIVO GENERAL	121
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	121
2. MARCO TEORICO	132
2.1 AUTOMATISMO SECUENCIAL	132
2.1.1 Estructura de un Sistema Automatizado	143
2.1.2 Autómatas programables	154
2.1.3 Estructura de un Autómata Programable Industrial	165
2.1.4 Arquitectura de un Autómata Programable	176
2.1.5 Tipos de lenguajes de programación	187
2.2 TRANSDUCTORES, SENSORES Y ACCIONAMIENTOS	209
2.2.1 Encoders	20
2.2.2 Encoder incremental	20
2.2.3 Encoder absoluto	22
2.3 CONTROLADORES PID	23
2.3.1 Reglas de sintonización para controladores PID	23
2.3.2 Método de Ziegler_Nichols para sintonizar controladores PID	24
2.3.3 Sistemas realimentados usando PID	29
2.3.4 Calibración del PID por medio de ajuste y observe	32
3. DESCRIPCION PROTOTIPO MESA DE POSICIONAMIENTO XY	35
3.1 COMPONENTES DE HARDWARE	35
3.1.1 Prototipo mesa x-y	35
3.1.2 PLC SIEMENS S7-200	36
3.1.3 Pantalla táctil	38
3.1.4 Modulo de salidas Análogas Siemens EM232	43
3.1.4 Motor dc con encoder	44
3.1.5 Driver de potencia	45
3.1.6 Finales de carrera	46
3.1.7 Actuador	46
3.2 COMPONENTES DE SOFTWARE	47
3.2.1 Step 7-MicroWin para los autómatas S7-200 de Siemens	47
3.2.2 Wincc Flexible	49
3.2.3 Lenguaje de programación utilizado	51
3.2.4 Programar un contador rápido	52
3.2.5 Autosintonizar el PID y Panel de sintonía PID	54
4. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS OBTENIDOS	56
4.1 PRUEBAS MECANICAS	56
4.2 PRUEBAS DEL ENCODER INCREMENTAL	57
4.3 PRUEBAS CON EL DRIVER DE POTENCIA	59
4.4 NORMALIZACIÓN	61

4.5 PRUEBAS CON EL PID	62
CONCLUSIONES.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	67
ANEXOS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un sistema automatizado	13
Figura 2. Estructura modular de un autómata programable	15
Figura 3. Estructura compacta de un autómata programable.....	16
Figura 4. Arquitectura interna de un autómata programable	17
Figura 5. Encoder incremental	21
Figura 6. Encoder absoluto.....	22
Figura 7. Control PID de una planta.....	25
Figura 8. Curva de respuesta escalón unitario que muestra un sobrepaso máximo de 25 %	25
Figura 9. Curva de respuesta con forma de S.....	26
Figura 10. Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional.....	27
Figura 11. Oscilación sostenida con un periodo P_{cr}	28
Figura 12. Sistema realimentado usando PID.....	30
Figura 13. Comportamiento de K_p	34
Figura 14. Prototipo mesa posicionadora x-y.....	35
Figura 15. Micro-PLC S7—200.....	36
Figura 16. Paneles táctiles y de operador	39
Figura 17. Operación modo manual.....	40
Figura 18. Operación modo automático	41
Figura 19. Modo de pruebas	42
Figura 20. Diagrama de bloques salida analógica EM232	44
Figura 21. OPA 548	45
Figura 22. Diagrama interno CI L293B.....	47
Figura 23. STEP 7--Micro/WIN	48
Figura 24. Estación de trabajo wincc flexible	50
Figura 25. Panel de control de sintonía PID.....	55
Figura 26. Mesa posicionadora x-y	56
Figura 27. Motor encoder.....	57
Figura 28. Acondicionador de señal.....	58
Figura 29. Tarjeta de control	58
Figura 30. Señal de encoder.....	59
Figura 31. Driver de potencia del OPA 548.....	60
Figura 32. Tarjeta de potencia	61
Figura 33. Respuesta al control PID con valores de $K_P=4.2$ $T_i=0.1$ $T_d=0$	64
Figura 34. Respuesta al control PID con valores de $K_P=4.2$ $T_i=0.001$ $T_d=0.05$...	65

TABLAS

Tabla 1. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (Primer método)	27
Tabla 2. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y en el periodo crítico P_{cr} (segundo método)	29
Tabla 3. Comparativa de las CPUs S7—200	38
Tabla 4. Datos técnicos EM232	44
Tabla 5. Configuraciones entradas del L293B	47
Tabla 6. Entradas correspondientes al reloj	54
Tabla 7 Datos obtenidos normalización coordenadas X y Y	61

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

Título: Aplicación del PLC SIEMENS S7-200 para el posicionamiento automático en una mesa XY monitoreado por pantalla táctil.

Autores: Yamir Arley correa Jaimes
Ronald Daniel Carrillo Cipagauta

Facultad: Facultad de Ingeniería Electrónica

Director: Juan Carlos Villamizar

RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto esta enfocado a la aplicación del PLC SIEMENS en el posicionamiento automático de una mesa x-y, pretendiendo afianzar los conocimientos en cuanto a implementación y programación de los autómatas programables se refiere y así aplicarlos en los diversos procesos industriales existentes. El prototipo de la mesa XY elaborada esta conformada por un tornillo sinfín para cada coordenada, acoplados a 2 motores dc cada uno con un encoder incremental incorporado, 4 finales de carrera para marcar el limite de cada movimiento y un actuador para marcar el punto requerido. Las señales generadas en los encoders son enviadas a las entradas rápidas del PLC SIEMENS el cual tendrá la función de procesarlas y compararlas con el set-point requerido por el usuario e introducido por medio de la pantalla táctil. El modulo de salidas análogas del PLC generará una señal en voltaje para cada motor de acuerdo al proceso realizado por el controlador PID programado. Esta señal será amplificada en corriente por el driver de potencia antes de ser entregada a cada motor. El presente libro contiene los aspectos teóricos fundamentales utilizados durante el desarrollo del proyecto, los equipos, materiales y métodos utilizados con sus respectivas características, además de figuras, tablas y conclusiones.

PALABRAS CLAVES: Posicionamiento automático, autómatas programables, codificador incremental, contadores rápidos, driver de potencia, controlador PID, pantalla táctil.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: APPLICATION OF SIEMENS PLC S7-200 FOR AUTOMATIC POSITIONING XY TABLE MONITORED BY TOUCH SCREEN.

AUTHORS: YAMIR ARLEY JAIMES BELT
RONALD DANIEL CARRILLO CIPAGAUTA

FACULTY: FACULTY OF ELECTRONIC ENGINEERING

DIRECTOR: JUAN CARLOS VILLAMIZAR

ABSTRACT

The development of this project is focused on the implementation of SIEMENS PLC automatic positioning xy table, trying to consolidate the knowledge in terms of implementation and programming of PLCs is concerned and so applied in the existing industrial processes. The XY table prototype developed is comprised of a worm for each coordinate, coupled to two DC motors each with a built-in incremental encoder, 4 limit switches to mark the boundary of each movement and an actuator to make the required point. The signals generated in the encoders are sent to the rapid entry of SIEMENS PLC which has the function of processing and comparing them with the set-point required by the user and entered through the touch screen. The analog output module of the PLC will generate a voltage signal for each motor according to the process by PID controller programmed. This current signal is amplified by the power driver before being delivered to each motor. This book contains the fundamental theoretical aspects used during project development, equipment, materials and methods used with their respective features, plus figures, tables and conclusions.

KEYWORDS: Automatic positioning, programmable controllers, incremental encoder, fast counters, power driver, PID controller, touch screen

INTRODUCCION

Los controladores lógicos programables son utilizados ampliamente dentro de la industria, estos dispositivos electrónicos son poderosas y versátiles herramientas, debido a esto es preciso encontrarlos en una diversa gama de aplicaciones interviniendo en procesos como la generación de energía, proceso de pintado de automóviles, envasado de alimentos, paletizadoras etc. Si en el proceso existen necesidades como: flexibilidad en la lógica de control, alta fiabilidad, recolección de datos, estrategias de diseño pensando en la evolución futura de la planta pretendiendo realizar cambios de forma rápida a un costo razonable y relativamente bajo, es preciso utilizar un PLC como herramienta de control.¹

En este trabajo de grado se plantea realizar una aplicación específica para el posicionamiento automático en una mesa x-y, utilizando el PLC SIEMENS S7-200, dando utilidad a sus herramientas como: los contadores rápidos o de alta velocidad, el bloque de control PID y su panel de sintonía, la interfaz grafica en la pantalla táctil para el monitoreo de la posición y el módulo de salidas análogas EM232.

Este trabajo de grado cuenta con la metodología utilizada y requerimientos de hardware y software necesarios para realizar el control y posicionamiento automático del actuador dentro de las coordenadas x-y requeridas por el usuario.

¹

BRYAN, L. *Programable Controllers: theory and implementation 2ª Edicion*. industrial text company.(1997).p.13

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar e implementar las herramientas propias del PLC SIEMENS S7-200 en un modulo de posicionamiento xy monitoreado por una pantalla táctil.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Construir el módulo mecánico de una mesa posicionadora xy.
- Aprender a manejar los contadores de alta velocidad del PLC SIEMENS S7-200 para el monitoreo de la posición.
- Programar e implementar un controlador PID dentro del PLC SIEMENS S7-200.
- Aprender a manejar las salidas análogas del módulo EM232 del PLC SIEMENS S7-200.
- Construir el driver de potencia para los motores de corriente continua.
- Realizar la interfaz gráfica en la pantalla táctil.

2. MARCO TEORICO

2.1 AUTOMATISMO SECUENCIAL

La automatización industrial es un mecanismo basado en elementos computarizados que permite controlar diversos tipos de procesos industriales reduciendo ampliamente la necesidad mental y sensorial del ser humano.

Los automatismos secuenciales permiten ser contruidos sobre el principio de la lógica cableada de forma específica mediante los denominados armarios de relés o por sistemas computarizados mediante microprocesadores, autómatas programables, ordenadores etc.

El significado de automatización comprende la eliminación parcial o total de la participación humana en la ejecución de diversas tareas, agrícolas, industriales, domésticas, administrativas o científicas. Se aplica la automatización tanto a las labores más sencillas, tales como la inversión de giro de un motor, como a las más complejas, tales como el procesamiento electrónico de datos, el control numérico computarizado etc.

En la actualidad los problemas de automatización industrial y administrativa se confían respectivamente a los especialistas en automática e informática, a los que se unen los especialistas del proceso por automatizar, que constituyen así un equipo pluridisciplinar.²

Los elementos mas relevantes en un proceso automatizado son los equipos sistematizados, los sensores de medida, transductores, los preaccionadores (contactores, relés etc.) y accionadores (electroválvulas, émbolos, motores, etc.).

² MORENO, Emilio Garcia. Automatizacion de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.p.9

2.1.1 Estructura de un Sistema Automatizado

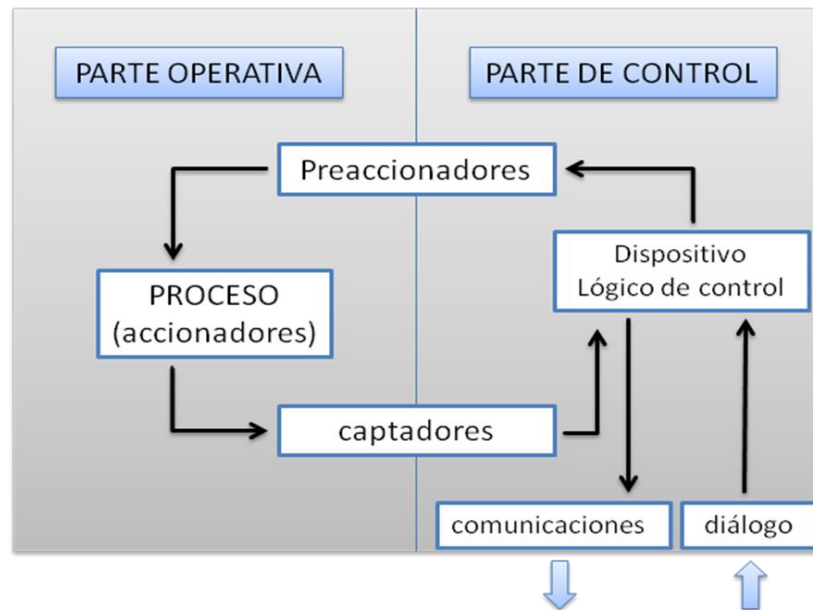


Figura 1. Estructura de un sistema automatizado

La organización de un Sistema Automatizado se divide en dos partes significativamente diferenciadas:

- **Parte Operativa**

La parte operativa esta conformada por una serie de elementos que permiten que la máquina ejecute la acción para la que fue diseñada. En la parte operativa están dispositivos accionadores tales como compresores, cilindros, motores, captadores, sensores etc.

- **Parte de Control o Mando**

En la parte de control se encuentra el dispositivo principal del sistema, encargado de supervisar, controlar y comunicar los elementos de la parte operativa independientemente de su implementación tecnológica neumática, electrónica, hidráulica etc.

2.1.2 Autómatas programables

Los autómatas programables tienen su aparición en la década de los 60 cuando la compañía norteamericana General Motors decide realizar un proyecto con objeto de solucionar los problemas presentados en los nuevos modelos de automóviles en cuanto a falta de flexibilidad, adaptación del proceso productivo y altos costos por reparación a causa de las paradas por daños en los modelos automatizados implementados a base de armarios de relés.

Los cambios significativos se presentaron en la década de los 80, presentado mejoras en la velocidad de respuesta, mayor numero de entradas y salidas, disminución en las dimensiones de los equipos, desarrollo de módulos de control continuo, PID, control inteligente, aumento de la capacidad de diagnostico en el funcionamiento y diversidad de lenguajes de programación.

La clasificación de los autómatas programables se basa en dos criterios fundamentales:

- Factores cuantitativos

A la hora de elegir el autómata programable que se ajuste a nuestro proceso es importante tener en cuenta el número de entras-salidas y la capacidad de memoria.

- Factores cualitativos

Son características que disponen los autómatas en cuanto a funciones para el control de diversos tipos de variables (binarias, enteras, reales con coma flotante), operaciones matemáticas (aritméticas, trigonométricas, logarítmicas, etc), protocolos de comunicación entre otras.³

³ MORENO, Emilio Garcia. Automatizacion de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.p.165

2.1.3 Estructura de un Autómata Programable Industrial

La estructura de los Autómatas Programables Industriales se clasifica teniendo en cuenta los siguientes conceptos:

- Estructura modular
- Estructura compacta

Estructura modular

La estructura modular se caracteriza por estar divididos en distintos módulos los componentes del PLC, de tal forma que físicamente existen módulos tanto para la CPU, fuente de alimentación, E/S, etc. ⁴

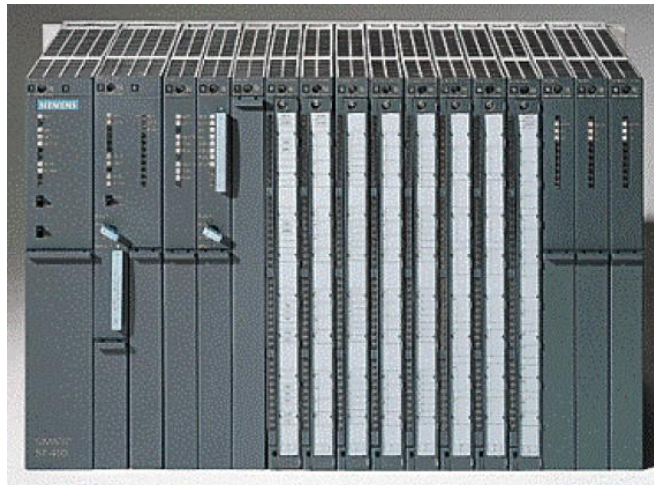


Figura 2. Estructura modular de un autómata programable

La principal ventaja de esta disposición radica en la posibilidad de adecuar la arquitectura del sistema a las necesidades estrictas de diseño y funcionamiento. También permite gran flexibilidad en su constitución y fácil mantenimiento,

⁴ MORENO, Emilio García. Automatización de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.p.169

permitiendo reducir tiempos a la hora de una reparación con el solo cambio del módulo averiado incluso en pleno funcionamiento.

Estructura compacta

La estructura compacta presenta en un solo bloque todos los elementos del autómata programable y resulta apropiada para pequeñas aplicaciones con un número prefijado de entradas/salidas.⁵

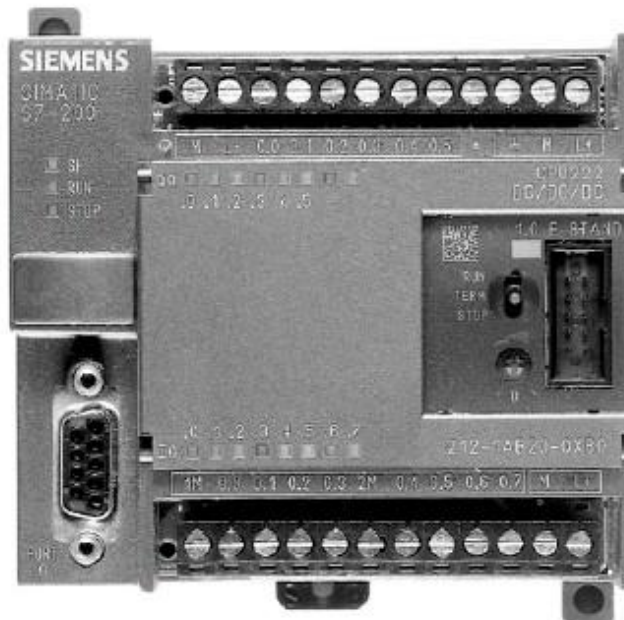


Figura 3.Estructura compacta de un autómata programable

2.1.4 Arquitectura de un Autómata Programable

El API esta constituido por dos unidades funcionales básicas: la unidad central y el sistema de entradas y salidas. El bloque de las entradas está constituido por el conjunto de señales que provienen de los transductores analógicos, digitales y/o

⁵ MORENO, Emilio Garcia. Automatizacion de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.p.169

binarios que recogen la información del proceso. El API cuenta con dispositivos opcionales como pantallas táctiles, consolas de programación, dispositivos de monitorización entre otras.

La unidad central, a su vez, está constituida por el procesador y la memoria.⁶

El procesador se encarga de la interpretación de las instrucciones de usuario y además se encarga de las tareas de coordinación internas y externas.

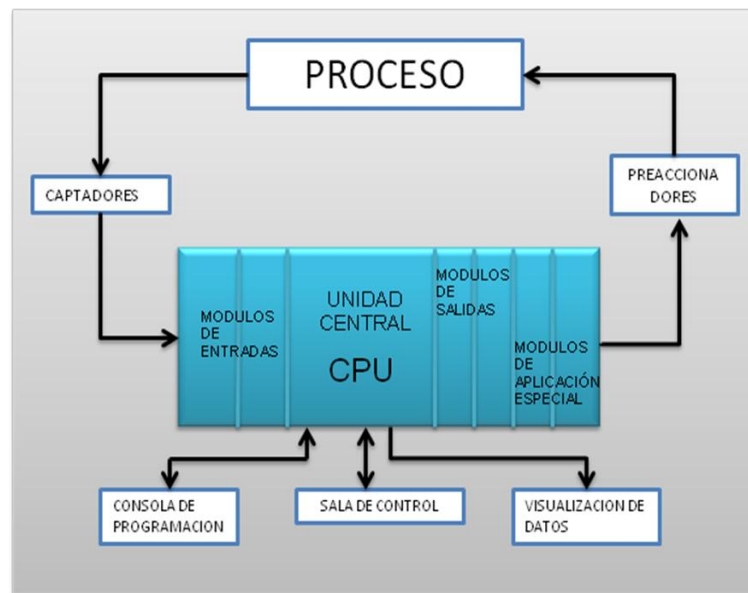


Figura 4. Arquitectura interna de un autómata programable

2.1.5 Tipos de lenguajes de programación

En una primera clasificación los lenguajes pueden clasificarse en:

- INFORMATICOS

Bajo nivel: Lista de instrucciones (Nemónicos)

⁶ MORENO, Emilio Garcia. Automatizacion de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.p.171

Alto nivel: Basic, Pascal, C

- GRAFICOS

Diagramas de escalera (Ladder Diagrams)

Flujogramas

Diagramas de funciones lógicas

Grafcet⁷

Los tipos de lenguajes de que disponen los API son diversos. De forma casi omnipresente se dispone del lenguaje de contactos o diagramas en escalera, cuya introducción formó parte de las especificaciones de diseño originales con objeto de que el personal de mantenimiento de los antiguos armarios de relés pudiese operar con éstos sin excesiva dificultad. Este lenguaje es una simulación gráfica de los circuitos eléctricos basados en elementos normalmente abiertos, cerrados y bobinas de accionamiento.

Otra forma de lenguajes de programación, tales como los diagramas de funciones lógicas está influenciada y basada por las técnicas de electrónica digital. En éstos se puede encontrar bloques programables de puertas lógicas, temporizadores, contactores, biestables, comparadores, etc... disponibles en librerías de objetos prediseñados. Otro tipo de lenguajes son de carácter eminentemente informático. Estos están constituidos por lenguajes de instrucciones, basados en nemotécnicos, Basic, C, flujogramas, etc... En la actualidad se están incorporando lenguajes derivados de grafos basados en estados y eventos tales como el Grafcet.⁸

⁷ MORENO, Emilio Garcia. Automatizacion de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.p.177

⁸ MORENO, Emilio Garcia. Automatizacion de Procesos Industriales. Mexico. Alfaomega, 2001.P.178

2.2 TRANSDUCTORES, SENSORES Y ACCIONAMIENTOS

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Es Por tanto un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que la señal de entrada es siempre una energía o potencia, pero al medir, una de las componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide sólo la otra componente.⁹

Al medir una fuerza, por ejemplo, se supone que el desplazamiento del transductor es despreciable, es decir, que no se carga al sistema, ya que de lo contrario podría suceder que éste fuera incapaz de aportar la energía necesaria para el desplazamiento. Pero en la transducción siempre se extrae una cierta energía del sistema donde se mide, por lo que es importante garantizar que esto no lo perturba.

Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (químicas), cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en una señal de otro tipo debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier forma física útil. En la práctica, se consideran transductores por antonomasia aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica. Ello se debe al interés de este tipo de señales en la mayoría de procesos de medida.

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida.

⁹ ARENY, Ramón Pallás. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España). Marcombo, 2003. P.2

- Sensor: sugiere una ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades física que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos.
- Transductor: sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas.

Generalmente se utiliza el término sensor para designar el transductor de entrada, y el término actuador o accionamiento para designar el transductor de salida.¹⁰

2.2.1 Encoders

Un encoder es un codificador rotatorio, también llamado codificador del eje, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor. Estos dispositivos se utilizan en robótica, en lentes fotográficas de última generación.

Un encoder adaptado a motores de cc genera un tren de pulsos por cada giro del eje del motor, si este se encuentra acoplado a una estructura mecánica dispuesta a producir un desplazamiento como por ejemplo el eje del motor acoplado a un sinfín y soportado sobre dos guías ubicadas en forma perpendicular dicho mecanismo puede producir un desplazamiento que a su vez puede ser controlado si los pulsos del encoder son contados por un dispositivo electrónico y se hace una correcta normalización. Es de mencionar que en el mercado se encuentran gran variedad de sistemas mecánicos ya sea con sinfín, engranajes y correas entre otros.

2.2.2 Encoder incremental

En un codificador de posición incremental hay un elemento lineal o un disco con poca inercia que se desplaza solidario a la pieza cuya posición se desea

¹⁰ ARENY, Ramón Pallás. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España). Marcombo, 2003. P.3

determinar. Dicho elemento cuenta con dos tipos de zonas o sectores, con una propiedad que las diferencia, dispuestas de formas alternativas y equidistantes. De este modo, un incremento de posición produce un cambio definido en la salida si se detecta dicha propiedad cambiante con la posición mediante un dispositivo o cabezal de lectura fijo.

Las propiedades empleadas para la diferenciación de los sectores pueden ser magnéticas, eléctricas u ópticas. La salida básica suele ser en forma de tren de pulsos con un ciclo de trabajo del 50%.¹¹

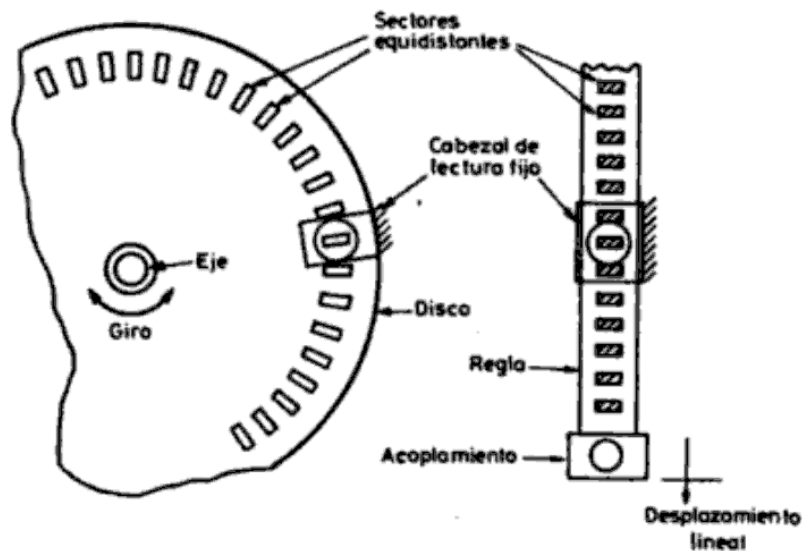


Figura 5. Encoder incremental

Una rueda o regla dentada de material ferromagnético dará un impulso de tensión cada vez que pase por delante de una bobina fija dispuesta en un campo magnético constante. La forma de la señal obtenida es casi senoidal, pero ésta se puede volver de forma cuadrada o simplemente determinar sus pasos por cero.

¹¹ ARENY, Ramón Pallás. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España). Marcombo, 2003. P.360

2.2.3 Encoder absoluto

Los encoder absolutos ofrecen a la salida una señal codificada correspondiente a la posición de un elemento móvil, regla o disco, con respecto a una referencia interna. Para esto, el elemento móvil dispone de zonas con una propiedad que las distingue, y a las que se asigna un valor binario “0” o “1”. Pero, a diferencia de los codificadores incrementales, hay varias pistas con zonas diferenciadas y están agrupadas de tal forma que el sistema de lectura obtiene directamente, en cada posición del elemento móvil, el número codificado que da su posición. Cada pista representa un bit de la salida, siendo la pista más interior la correspondiente al bit de mayor peso.¹²

Los tipos de sensores más empleados en este caso son los ópticos, con zonas opacas y transparentes y, en menor medida, los de contacto, con zonas conductoras y aislantes.

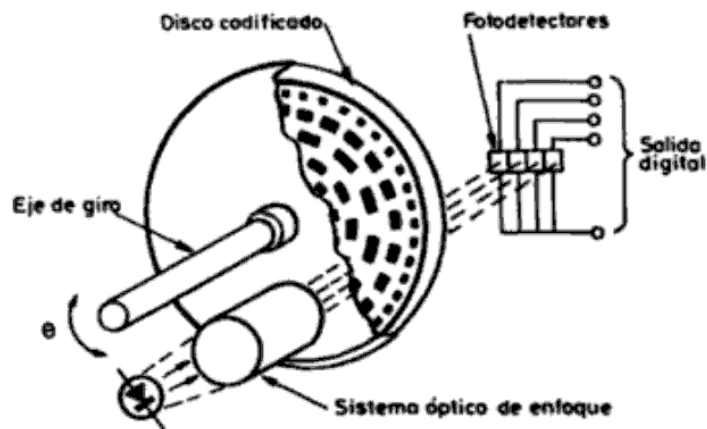


Figura 6. Encoder absoluto

Estos codificadores tienen inmunidad intrínseca frente a las interrupciones e interferencias electromagnéticas, pero ello es a costa de unos cabezales de lectura que son mucho más complejos que en los codificadores incrementales.

¹² ARENY, Ramón Pallás. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España). Marcombo, 2003. P.366

Esto se debe a que hay tantos elementos de lectura como pistas y a la necesidad de que todos ellos estén bien alineados, de lo contrario, el código ofrecido a la salida puede estar formado por bits correspondientes a dos posiciones contiguas. El código que resulte puede corresponder a una posición muy distante de la posición real.¹³

2.3 CONTROLADORES PID

Es importante tener en cuenta que más de la mitad de los controladores industriales que se usan hoy en día utilizan esquemas de control PID o PID modificado. Los controladores PID analógicos son, principalmente, de tipo hidráulico, neumático, electrónico y eléctrico o combinaciones. Actualmente, muchos de éstos se transforman en formas digitales mediante el uso de microprocesadores.

Debido a que casi todos los controladores PID se ajustan en el sitio, en la literatura se han propuesto muchos tipos diferentes de reglas de sintonización, que permiten llevar a cabo una sintonización delicada y fina de los controladores PID en el sitio. Asimismo, se han desarrollado métodos automáticos de sintonización y algunos de los controladores PID poseen capacidad de sintonización automática en línea.¹⁴

2.3.1 Reglas de sintonización para controladores PID

Si es posible obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diferentes técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del

¹³ ARENY, Ramón Pallás. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España). Marcombo, 2003. P.367

¹⁴ OGATA, katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna 3ª edición . Madrid. Prentice Hall, 1998.P.669- 673

controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado. Ahora bien si la planta es complicada y no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

Ziegler y Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer valores K_p , T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas aunque dichas técnicas son aplicables al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.

2.3.2 Método de Ziegler_Nichols para sintonizar controladores PID

Ziegler y Nichols proponen reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID se realizan en el sitio mediante experimentos sobre la planta. Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón.

1er método:

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, como se observa en la figura 7. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de

respuesta escalón Unitario puede tener forma de S, como se observa en la figura 8. (Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, no es preciso utilizar este método.) Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t) = K$, como se muestra en la figura 9.¹⁵

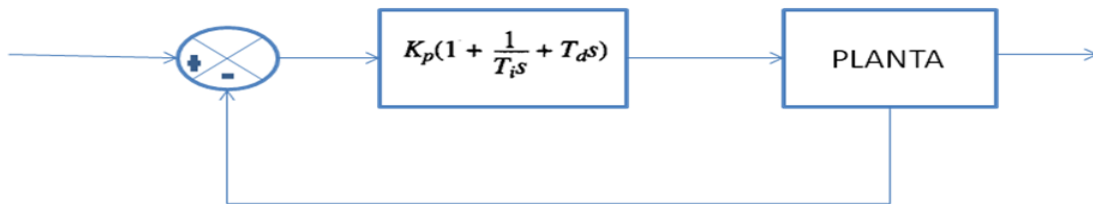


Figura 7. Control PID de una planta

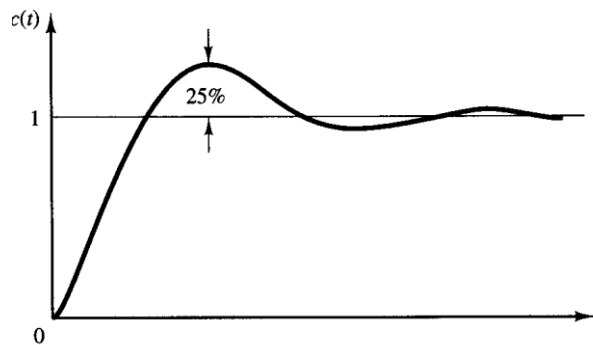


Figura 8. Curva de respuesta escalón unitario que muestra un sobrepaso máximo de 25 %

En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

¹⁵ OGATA, katsuhiko.Ibid

Este método de Ziegler y Nichols sugiere establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla 1. El controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce ¹⁶

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

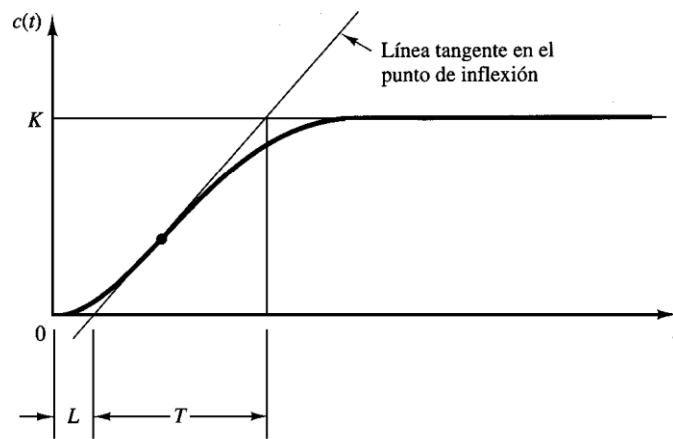


Figura 9. Curva de respuesta con forma de S.

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

Tabla 1. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (Primer método)

¹⁶ OGATA, katsuhiko.Ibid

$$G_c(s) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right)$$

$$G_c(s) = 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L}\right)^2}{s}$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s = -1/L$.¹⁷

2do método:

En el segundo método, primero establecemos $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional (véase la figura 10), incrementamos K_p de 0 a un valor crítico K_{cr} en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método.) Por tanto, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_a correspondiente se determinan experimentalmente (véase la figura 11). Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla 2.¹⁸



Figura 10. Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional

¹⁷ OGATA, katsuhiko.Ibid

¹⁸ OGATA, katsuhiko.Ibid

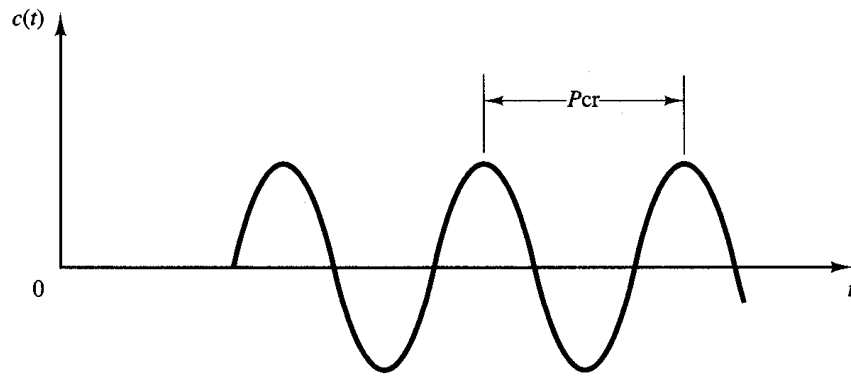


Figura 11. Oscilación sostenida con un periodo P_{cr}

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Tabla 2. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y en el periodo crítico P_{cr} (segundo método)

El controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas de Ziegler-Nichols produce:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$G_c(s) = 0.6K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5P_{cr} s} + 0.125P_{cr} s \right)$$

$$G_c(s) = 0.075K_{cr}P_{cr} \frac{(s + \frac{4}{P_{cr}})^2}{s}$$

Por tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y cero doble en $s = -4/P_{cr}$.

La utilidad real de las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols se vuelve evidente cuando no se conoce la dinámica de la planta, por lo que no se cuenta con enfoques analíticos o gráficos para el diseño de controladores¹⁹

2.3.3 Sistemas realimentados usando PID.

Existen tres problemas fundamentales cuando se usa sistemas con realimentación proporcional. El primero, es que el sistema tiene un gran offset; segundo, se tiene una respuesta lenta cuando se cambia el SP (estos problemas son producidos principalmente por una K_p baja), pero si se aumenta demasiado el valor de K_p el sistema se vuelve inestable y oscilatorio. Además es imposible optimizar el sistema para que tenga bajo offset, rápida respuesta y alta estabilidad modificando solo el valor de K_p .

Para mejorar este inconveniente, se han adicionado dos funciones más al control de lazo cerrado los cuales son una función derivativa y una integral como se muestra en la figura 12. Tenga presente que en este sistema el error se puede pasar por tres lazos, uno proporcional, uno integral y uno derivativo, estos efectos son amplificados por una constante llamadas K_p , K_i y K_d respectivamente y luego son sumados para producir la señal CV. Si no se desea tener alguna de estas funciones solo hay que hacer la respectiva constante igual a cero.²⁰

¹⁹ OGATA, katsuhiko. Ibid

²⁰ VILLAMIZAR, Juan Carlos. Automatización de procesos industriales. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

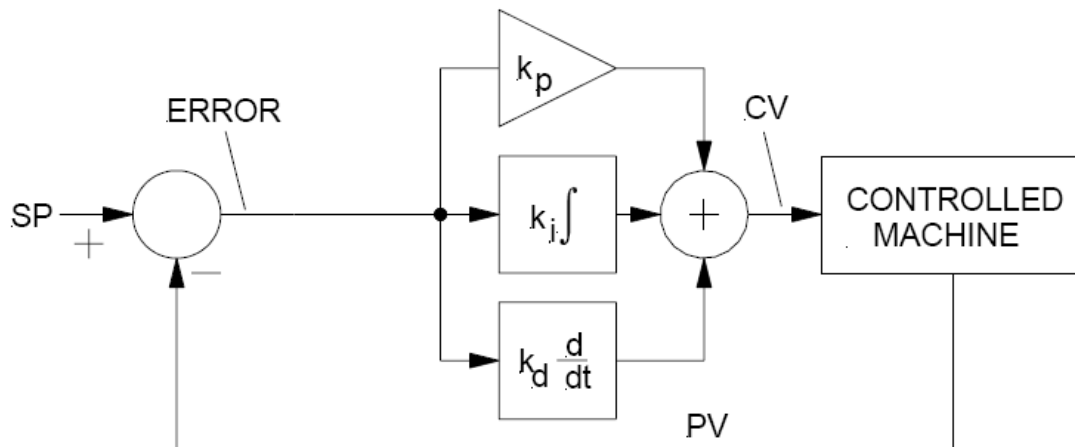


Figura 12. Sistema realimentado usando PID.

La expresión exacta para un control PID de forma continua es:

$$CV = Kp \left[(SP - PV) + ki \int (SP - PV) dt + kd \frac{d}{dt} (SP - PV) \right]$$

Sin embargo un PLC calcula las funciones de integración y derivación de forma discreta y dependiente de un intervalo de muestreo Δt el PID discreto queda:

$$CV = Kp \left[(SP - PV) + ki \sum (SP - PV) \Delta t + kd \frac{\Delta(SP - PV)}{\Delta t} \right]$$

En la ecuación anterior la expresión $SP - PV$ es la señal del error, entonces $\sum (SP - PV) \Delta T$ es la suma de las áreas, es decir el control integral, y la parte $\frac{\Delta(SP - PV)}{\Delta t}$ es el valor de la pendiente de la curva del error.²¹

²¹ VILLAMIZAR, Juan Carlos. Automatización de procesos industriales. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

Con el fin de realizar la sintonización de un PID de una forma más metódica, los fabricantes de PLC han reemplazado el valor de k_i por el término constante de tiempo integral T_i . El valor de $T_i=1/k_i$ o el inverso de la ganancia integral. De la misma manera, la constante de ganancia k_d ha sido reemplazada por la constante de tiempo derivativa T_d , donde $T_d=1/k_d$. Sin embargo cuando se sintoniza un PID operado desde un PLC, el diseñador debe ajustar las tres constantes K_p , T_i , T_d , si se usan estas tres constantes la expresión será:

$$CV = K_p \left[(SP - PV) + \frac{1}{T_i} \sum (SP - PV) \Delta t + T_d \frac{\Delta(SP - PV)}{\Delta t} \right]$$

Algunos sistemas de control responden muy lentamente, por ejemplo los calentadores u hornos. Aún si el horno tiene los quemadores al máximo, la rata de la temperatura cambia solo unas fracciones de grado por minuto. Si el sistema realiza los cálculos muy seguidos, se estaría perdiendo tiempo de cómputo que podría ser usado en otras tareas. Por esta razón algunos fabricantes de controladores PID pueden ajustar el intervalo de muestreo desde unos milisegundos a varios segundos. Lo que reduce el trabajo matemático del sistema en el caso de maquinas lentas.

La sintonización de un PID es un proceso subjetivo que requiere que el diseñador esté familiarizado con las características del sistema a ser controlado y la respuesta del sistema cuando se le cambia el set-point de entrada. El diseñador debe tener en cuenta los cambios de la respuesta si la carga de la máquina cambia. Adicionalmente, los problemas de sintonización del PID pueden ocurrir si el sistema que se está controlando tiene una respuesta no lineal ante al entrada de CV.²²

²² VILLAMIZAR, Juan Carlos. Automatización de procesos industriales. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

Otro problema potencial que se presenta cuando se sintonizan PID puede ocurrir cuando se tiene sistemas duales, En la estructura mecánica utilizada para realizar el posicionamiento automático al que se pretende llegar en este trabajo de grado la interviene dos motores de cc uno utilizado para el desplazamiento en cada uno de los ejes x-y. Teniendo presente que el comportamiento de los motores difiere en su velocidad de respuesta, el nivel de voltaje al cual su eje empieza a girar y adicionalmente se tienen en cuenta los parámetros físicos que intervienen en la estructura mecánica como fricción y masa, un mismo PID para ambos seria obsoleto lo que hace necesario la utilización de dos PID para este caso.

Teóricamente, es posible que matemáticamente se pueda sintonizar un PID y calcular de forma exacta los coeficientes del control prediciendo los comportamientos de la máquina. Sin embargo, para poder realizar esta labor se necesita tener un conocimiento muy exacto de los parámetros de la máquina como masa, fricción, inercia, pérdidas, etc que pueden hacer más difícil la tarea de conocer los modelos de la planta que la sintonización misma del control. Por esta razón, algunos ingenieros obvian este paso y la sintonización del PID la hacen a prueba y error.

2.3.4 Calibración del PID por medio de ajuste y observe.

A partir de los métodos de sintonización de controladores PID mencionados anteriormente en la literatura se encuentran una serie métodos para sintonización de controladores, Como su nombre lo implica el método ajuste y observe para sintonizar el PID se inicia con un ajuste inicial, hay que observar la respuesta de la máquina y luego conociendo como funciona cada uno de los parámetros del PID se debe hacer los ajustes y corregir la respuesta de la máquina.²³

²³ VILLAMIZAR, Juan Carlos. Automatización de procesos industriales. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

El procedimiento de ajuste puede ser el siguiente:

- 1) Inicializar los valores del PID, Se puede iniciar colocando los valores de T_d y T_i en cero y colocar el valor de K_p entre 1 y 5.
- 2) Con la máquina funcionando, cambie un poco el SP a un nuevo valor. Observe la respuesta. La figura 13 muestra algunas respuestas típicas cambiadas de cero a 10. Un buen ajuste de K_p preliminar se consigue cuando se tiene un overshoot entre el 10% y 30% en el cambio del setpoint. En este punto se debe concentrar en el menor overshoot posible y no en el offset, recuerde que este problema se puede reducir con las constantes t_i .

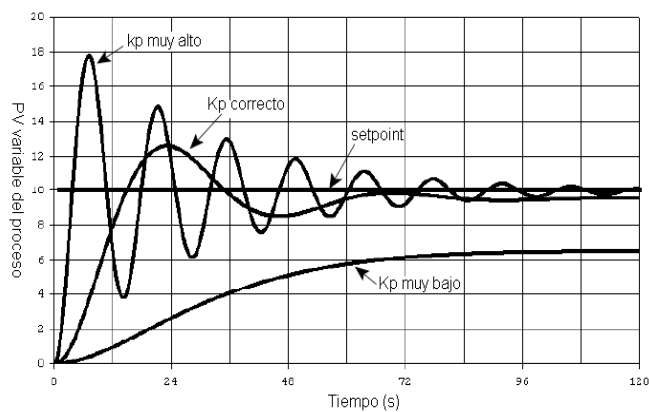


Figura 13. Comportamiento de K_p

- 3) Incremente el valor de T_d hasta que el overshoot se reduzca a un nivel deseado. Si no se quiere overshoot se debe colocar un valor grande de T_d .
- 4) Ajuste el valor de T_i para eliminar el offset. Recuerde que valores pequeños de T_i causan que la eliminación del offset sea lenta, mientras que valores altos hacen que el sistema oscile.²⁴

²⁴ VILLAMIZAR, Juan Carlos. Automatización de procesos industriales. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

- 5) Una vez la sintonización del PID se ha completado, el diseñador puede hacer ajustes de las tres constantes si lo desea. Recuerde que el diseñador puede hacer variar K_p en un amplio rango para mejorar el tiempo de respuesta; hay que someter la máquina a varias cargas para verificar su desempeño bajo estas condiciones.

3. DESCRIPCION PROTOTIPO MESA DE POSICIONAMIENTO XY

Para el desarrollo del presente proyecto se realizó la identificación de los objetivos a cumplir y de acuerdo a éstos se seleccionó los elementos en hardware y software a utilizar.

3.1 COMPONENTES DE HARDWARE

3.1.1 Prototipo mesa x-y

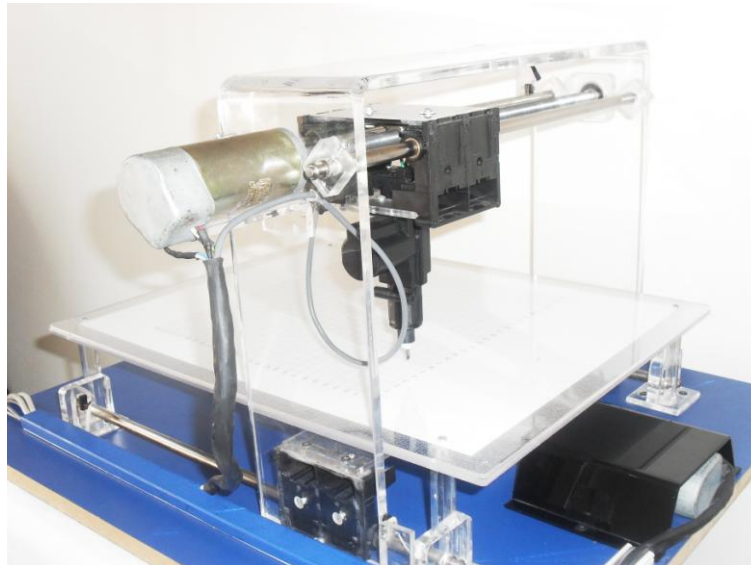


Figura 14. Prototipo mesa posicionadora x-y

El prototipo de la mesa XY elaborada esta conformado por un tornillo sinfín encajado a una estructura en acrílico para cada coordenada y soportados por dos guías ubicadas paralelamente. Los tornillos sinfín están acoplados al eje de cada motor dc cada uno con un encoder incremental incorporado, 4 finales de carrera para marcar el límite de cada movimiento y un actuador para marcar el punto requerido. Toda la operación será ejecutada desde una pantalla táctil.

3.1.2 PLC SIEMENS S7-200

La CPU S7--200 incorpora en una carcasa compacta un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida que conforman un potente Micro--PLC (ver figura 15), después de cargar el programa en el S7--200, éste contendrá la lógica necesaria para supervisar y controlar los aparatos de entrada y salida de la aplicación. Para ver más información refiérase al ANEXO B.²⁵

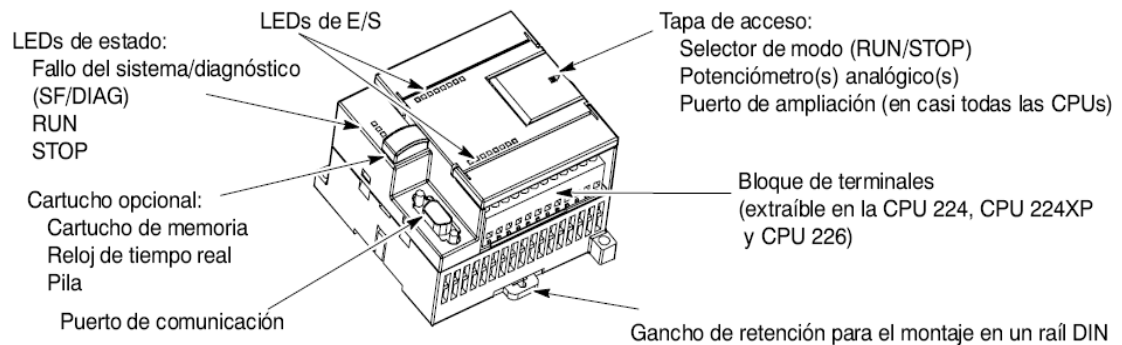


Figura 15. Micro--PLC S7—200

Siemens ofrece diferentes modelos de CPUs S7--200 que ofrecen una gran variedad de funciones que posibilita dar soluciones efectivas de automatización destinadas a numerosas aplicaciones. En la tabla 3 se comparan de forma resumida algunas de las funciones de la CPU.²⁶

²⁵ Manual del sistema de automatización S7-200. Sismatic

²⁶ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

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 sin edición en runtime	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Memoria de datos	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memoria de backup	50 horas (típ.)	50 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)	100 horas (típ.)
E/S integradas Digitales Analógicas	6 E/4 S	8 E/6 S	14 E/10 S	14 E/10 S 2 E/1 S	24 E/16 S
Módulos de ampliación	0 módulos	2 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹	7 módulos ¹
Contadores rápidos Fase simple Dos fases	4 a 30 kHz 2 a 20 kHz	4 a 30 kHz 2 a 20 kHz	6 a 30 kHz 4 a 20 kHz	4 a 30 kHz 2 a 200 kHz 3 a 20 kHz 1 a 100 kHz	6 a 30 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 analógicos	1	1	2	2	2
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	Sí				
Tamaño de la imagen de E/S digitales	256 (128 E / 128 S)				
Velocidad de ejecución booleana	0.22 microsegundos/operación				

Tabla 3. Comparativa de las CPUs S7—200

Contadores rápidos PLC SIEMENS S7-200

Los contadores de alta velocidad cuentan eventos rápidos, independientemente del ciclo de la CPU. Tienen un valor de conteo de entero de 32 bits con signo denominado también valor actual. Para acceder al valor de conteo del contador rápido, se indica la dirección del mismo (utilizando el identificador HC) y el número

del contador (por ejemplo. HC0). El valor actual del contador rápido es de sólo lectura, pudiéndose acceder al mismo sólo en formato de palabra doble (32 bits). Los contadores rápidos se utilizan habitualmente como accionamiento para temporizadores que funcionan impulsados por un árbol que gira a un régimen constante y provisto de un encoder incremental. Éste último provee un número determinado de valores de conteo por giro dependiendo de la resolución del encoder, así como un impulso de puesta a "0" una vez por giro. El reloj (o relojes) y el impulso de puesta a "0" del encoder suministran las entradas para el contador rápido.

El primero de los valores predeterminados se carga en el contador y las salidas deseadas se activan para el intervalo de tiempo en que el valor actual del contador es menor que el valor predeterminado. El contador se ajusta para que una interrupción se active cuando el conteo actual sea igual al predeterminado o cuando el contador se ponga a 0.

Cuando el valor actual es igual al predeterminado y se presenta un evento de interrupción, se carga un nuevo valor predeterminado y se activa el siguiente estado de señal para las salidas.

Cuando ocurre el evento de interrupción de inicialización, se activan el primer valor predeterminado y los primeros estados de las salidas, repitiéndose el ciclo.²⁷

3.1.3 Pantalla táctil

El OP 73micro y TP 177micro son paneles diseñados para las aplicaciones del Micro PLC S7--200 SIMATIC, ofreciendo funciones de operación y supervisión para máquinas y plantas pequeñas. Los breves tiempos de configuración y puesta en marcha, así como su configuración en WinCC flexible son importantes ventajas

²⁷ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

de estos paneles. Para la aplicación propuesta en el trabajo de grado se cuenta con la TP177micro. Dicha pantalla táctil, soporta hasta 32 idiomas de configuración y cinco idiomas en línea, incluyendo los juegos de caracteres asiático y cirílico.²⁸



Figura 16. Paneles táctiles y de operador

La operación y control de proceso es realizado desde la pantalla táctil (HMI), debido a esto se procura que el diseño gráfico sea lo mas sencillo y asequible en cuanto a la visualización y cumpla con los requerimiento de operación necesarios. Para éste fin se ha requerido de tres modos de pantalla diferentes los cuales pueden ser navegados con relativa facilidad y a su vez cada modo de pantalla

²⁸ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

permite realizar el proceso de tres formas diferentes las cuales se mencionan a continuación:

- Operación modo manual

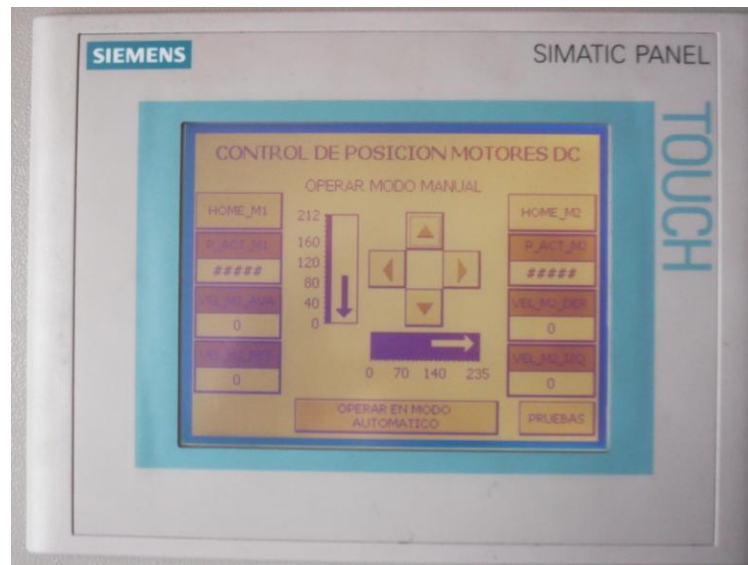


Figura 17. Operación modo manual

En el modo manual se encuentran dos bloques de funciones M1 que indica el movimiento en el eje x y M2 el movimiento en el eje y.

Los bloques cuentan con dos operadores HOME_M1 y HOME_M2 que al pulsarlos dirigen la estructura a la posición 0x y 0y. También se puede visualizar la posición actual de cada motor mediante los cuadros P_ACT_M1 y P_ACT_M2.

El movimiento en modo manual se realiza mediante las flechas ubicadas en el centro de la pantalla.

Para pasar a los dos procesos programados se dispone de dos operadores OPERAR EN MODO AUTOMATICO Y PRUEBAS.

- Operación modo automático

Este modo de pantalla se encuentra dividido gráficamente en bloques, un bloque de funciones para el control de posición en lazo abierto, un bloque de funciones para el control en lazo cerrado, un bloque de función que permite regresar a la operación en modo manual y dos indicadores flecha arriba-abajo que permiten accionar el actuador encargado de marcar el punto requerido.

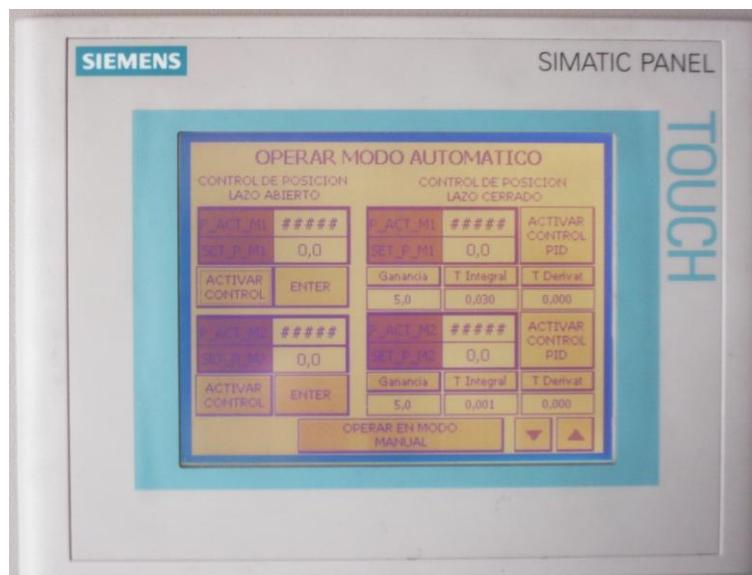


Figura 18. Operación modo automático

El bloque de funciones de lazo abierto y lazo cerrado cuenta dentro de la pantalla con indicadores similares de funciones excepto que el bloque de función de lazo cerrado es un lazo de control realimentado el cual compara el valor de la señal censada con el set_point y esta diferencia es ajustada por el controlador PID. Por ende se encuentran adicionalmente indicadores de ganancia proporcional, tiempo integral y tiempo derivativo.

A continuación la descripción de cada una de las funciones:

- P_ACT_MI: Permite observar la posición actual del motor 1 es decir el encargado de desplazar el actuador en el eje x
- SET_P_M1: Accionando esta función se podrá ingresar el valor de set-point deseado por el usuario para el motor 1 encargado de mover el actuador en el eje x
- P_ACT_M2: Permite observar la posición actual del motor 2 es decir el encargado de desplazar el actuador en el eje y
- SET_P_M2: Accionando esta función se podrá ingresar el valor de set-point deseado por el usuario para el motor 2 encargado de mover el actuador en el eje y
- ACTIVAR CONTROL: Función encargada de activar el control respectivo ya sea para el motor 1 o para el motor 2
- ENTER: Función encargada de proceder a realizar la acción.
- FUNCION CABEZA DE FLECHA ABAJO: permite desplazar el actuador encargado de marcar la posición hacia abajo.
- FUNCION CABEZA DE FLECHA ARRIBA: permite desplazar el actuador hacia arriba.
- OPERAR EN MODO MANUAL: Permite regresar al modo de operación manual del proceso.

- Modo de pruebas

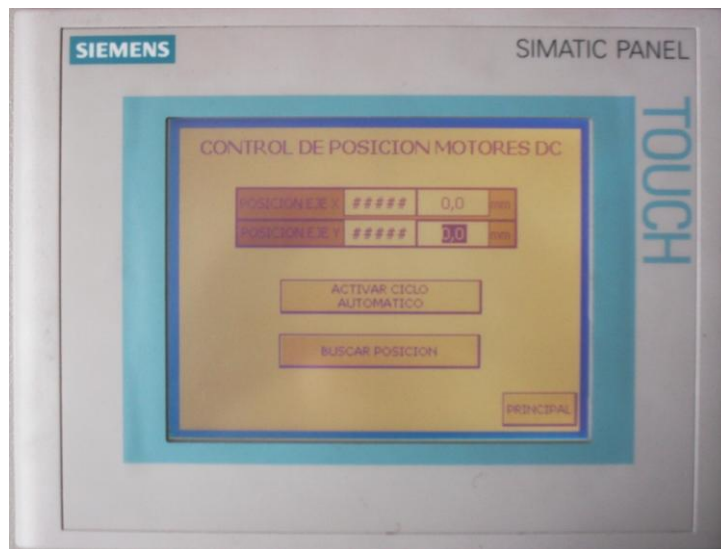


Figura 19. Modo de pruebas

El modo de pruebas permite ingresar el set-point para cada eje, posteriormente se pulsa la función activar ciclo automático y después de ejecutar el operador BUSCAR POSICION el actuador deberá dirigirse a las coordenadas especificadas previamente.

3.1.4 Modulo de salidas Análogas Siemens EM232

La gama S7-200 incluye gran variedad de módulos de ampliación para poder satisfacer aún mejor los requisitos de la aplicación. Estos módulos se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU S7-200. El modulo requerido para la aplicación propuesta es el EM232 con referencia 6ES7 232--0HB22--0XA0 y se caracteriza por tener dos salidas análogas.

N° de referencia	Nombre y descripción de la CPU	Dimensiones en mm (l x a x p)	Peso	Disipación	Tensión DC disponible	
					+5 VDC	+24 VDC
6ES7 231-0HC22-0XA0	EM 231, 4 entradas analógicas	71,2 x 80 x 62	183 g	2 W	20 mA	60 mA
6ES7 231-0HF22-0XA0	EM 231, 8 entradas analógicas	71,2 x 80 x 62	190 g	2 W	20 mA	60 mA
6ES7 232-0HB22-0XA0	EM 232, 2 salidas analógicas, 2 salidas	46 x 80 x 62	148 g	2 W	20 mA	70 mA (ambas salidas a 20 mA)
6ES7 232-0HD22-0XA0	EM 232, 4 salidas analógicas	71,2 x 80 x 62	190 g	2 W	20 mA	100 mA (todas las salidas a 20 mA)
6ES7 235-0KD22-0XA0	EM 235, 4 entradas analógicas/1 salida analógica	71,2 x 80 x 62	186 g	2 W	30 mA	60 mA (salida a 20 mA)

Tabla 4. Datos técnicos EM232

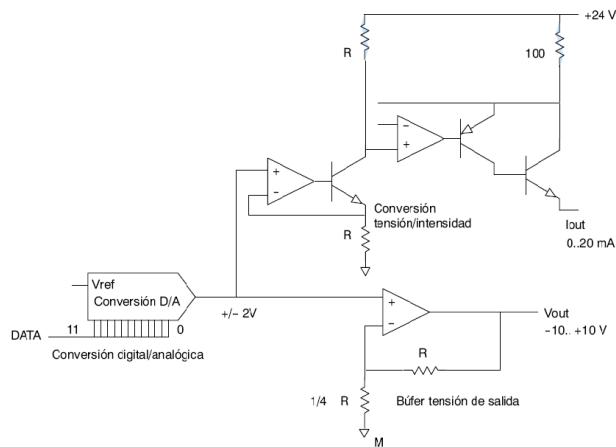


Figura 20. Diagrama de bloques salida analógica EM232

3.1.4 Motor dc con encoder

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio.

Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, par y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos.

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.²⁹

Los motores utilizados en el proyecto son motores dc 12V provistos con un encoder incremental acoplado a su eje. Este encoder genera un tren de 128 pulsos por cada vuelta, proporcionando dos señales cuadradas desfasadas en 90 grados y un voltaje de 5Vp.

²⁹ Motor dc con encoder [Página de internet] En:
http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua.

3.1.5 Driver de potencia

Las salidas analógicas del PLC SIEMENS S7-200 suministran una señal analógica en voltaje entre -10V a +10V, esta señal suministrada es muy débil en corriente para satisfacer lo requerido por los motores para desplazar la estructura mecánica de la mesa posicionadora xy, por tal motivo fue necesario incorporar el amplificador operacional de potencia OPA548 de Texas instruments, dispositivo capaz de impulsar dicha corriente.

El OPA548 es un amplificador operacional de alto voltaje – alta corriente de un costo relativamente bajo, ideal para el manejo de una gran variedad de cargas, su principal característica es la de proporcionar una excelente precisión de la señal de bajo nivel y alta tensión de salida y corriente.

Este dispositivo se encuentra protegido internamente contra el exceso de temperatura y sobrecargas de corriente.

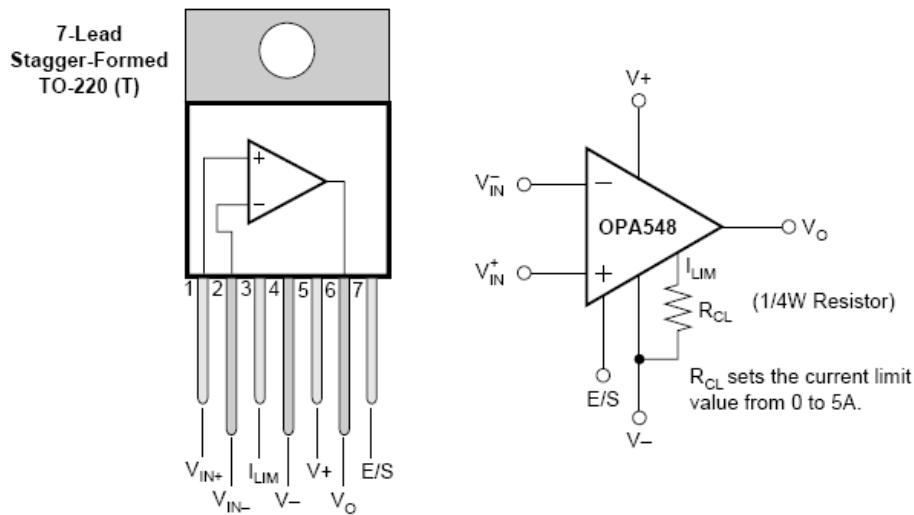


Figura 21. OPA 548

3.1.6 Finales de carrera

Dentro de los componentes del proyecto, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o limit switch, estos dispositivos mecánicos se encuentran ubicados al inicio y fin del recorrido del elemento móvil, con el objetivo de enviar señales al plc que permitan indicar el limite de cada eje. Internamente contiene un interruptor normalmente abierto. Este sensor está compuesto por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento.³⁰

3.1.7 Actuador

Una vez la variable de proceso alcance el set-point ingresado por el usuario mediante la HMI para cada uno de los ejes coordenados se ha dispuesto de un actuador que será encargado de marcar el punto en el cual esta ubicado.

Para éste proceso se implementa el circuito integrado L293B. Este dispositivo tiene encapsulado un puente H para realizar la inversión de sentido del embolo y dispone de tres entradas controladas por el PLC. Una de ellas es de habilitación del integrado y las otras dos A y B generan acciones de acuerdo a la tabla 5:

INPUT		OUTPUT
A	B	
0	0	LIBRE
1	0	ARRIBA
0	1	ABAJO
1	1	LIBRE

Tabla 5. Configuraciones entradas del L293B

³⁰ Final de carrera [Página de internet] En: http://es.wikipedia.org/wiki/Final_de_carrera

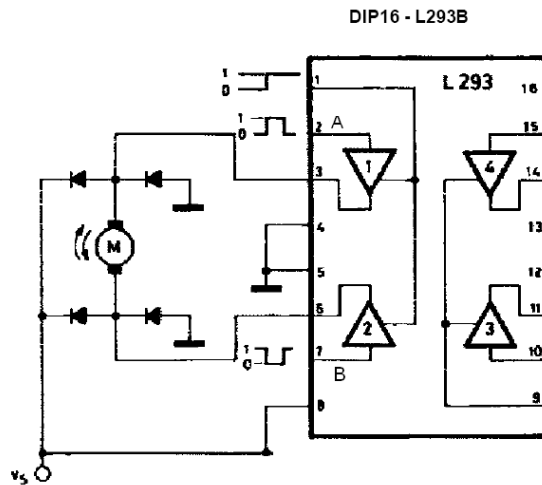


Figura 22. Diagrama interno CI L293B

Este dispositivo puede manejar un motor de 6 a 40 Voltios. Tiene dos entradas lógicas A y B, y dos salidas denominadas también A y B. Si la entrada A es alta, entonces la salida A también será alta y el motor gira en un sentido. Ahora, si la entrada B es alta, la salida B es alta y el motor gira en sentido contrario.

3.2 COMPONENTES DE SOFTWARE

3.2.1 Step 7-MicroWin para los autómatas S7-200 de Siemens

El Step 7-MicroWin es una aplicación de SIEMENS para la programación de los PLC S7-200.

Utilización del STEP 7--Micro/WIN para crear programas

Para iniciar STEP 7--Micro/WIN, hacer doble clic en el icono de STEP 7--Micro/WIN o elegir los comandos Inicio > SIMATIC > STEP 7--Micro/WIN V4.0. Como muestra la figura 19, STEP 7--Micro/WIN ofrece una interfaz de usuario

cómoda para crear el programa de control. Las barras de herramientas contienen botones de método abreviado para los comandos de menú de uso frecuente. Estas barras se pueden mostrar u ocultar. La barra de navegación comprende iconos que permiten acceder a las diversas funciones de programación de STEP 7--Micro/WIN.³¹

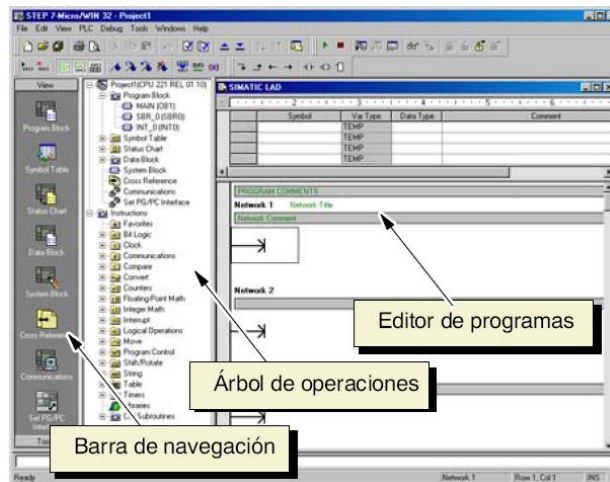


Figura 23. STEP 7--Micro/WIN

En el árbol de operaciones se visualizan todos los objetos del proyecto y las operaciones para crear el programa de control. Para insertar operaciones en el programa, se utiliza el método de "arrastrar y soltar" desde el árbol de operaciones, o bien hacer doble clic en una operación con objeto de insertarla en la posición actual del cursor en el editor de programas.

El editor de programas contiene el programa y una tabla de variables locales donde se pueden asignar nombres simbólicos a las variables locales temporales. Las subrutinas y las rutinas de interrupción se visualizan en forma de fichas en el borde inferior del editor de programas. Para acceder a las subrutinas, a las rutinas

³¹ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

de interrupción o al programa principal, se debe hacer clic en la ficha en cuestión.³²

3.2.2 Wincc Flexible

WinCC flexible es el software HMI para conceptos de automatización del ámbito industrial con proyección de futuro y una ingeniería sencilla y eficaz. WinCC flexible reúne las siguientes ventajas:

- Sencillez
- Claridad
- Flexibilidad

COMPONENTES DE WINCC FLEXIBLE

- WinCC flexible Engineering System

Este software que permite realizar todas las tareas de configuración necesarias. La edición de WinCC flexible determina qué paneles de operador de la gama SIMATIC HMI se pueden configurar.

WinCC flexible cubre el nivel de funciones que abarca desde los Micro Panels hasta la visualización en PC sencilla. De este modo, la funcionalidad de WinCC flexible es comparable a la de los productos de la serie ProTool y del TP-Designer. Además, WinCC flexible permite seguir utilizando los proyectos anteriores de ProTool.

³² Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

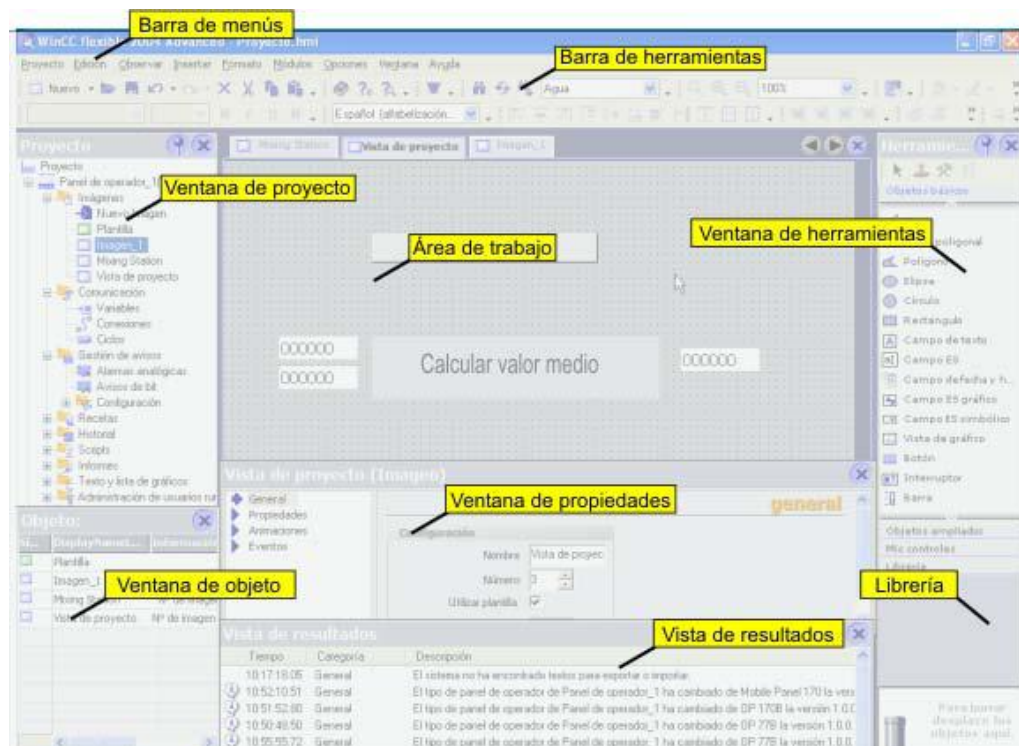


Figura 24. Estación de trabajo wincc flexible

- WinCC flexible Runtime

WinCC flexible Runtime es el software para visualizar procesos. En runtime, el proyecto se ejecuta en modo de proceso.³³

En runtime, el usuario puede controlar y visualizar el proceso. Las tareas más frecuentes son:

- La comunicación con los sistemas de automatización
- La visualización de las imágenes en la pantalla
- El control del proceso, p. ej., mediante entrada de valores de consigna o mediante apertura y cierre de válvulas.
- La grabación de los datos actuales de runtime, como por ejemplo, los valores de proceso y los eventos de aviso

³³ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

3.2.3 Lenguaje de programación utilizado

El software STEP 7-Micro/WIN utilizado para realizar la programación del control de posición automático ofrece tres editores para crear programas: Esquema de contactos (KOP) también conocido como diagrama de escalera, Lista de instrucciones (AWL) y Diagrama de funciones (FUP). Con algunas restricciones, los programas creados con uno de estos editores se pueden visualizar y editar con los demás.

Dentro de estas tres opciones fue escogido el lenguaje de programación KOP debido a su practicidad al crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos algunos aspectos importantes para seleccionar el editor KOP son:

- La representación gráfica es fácil de comprender, siendo popular en el mundo entero.
- El editor KOP se puede utilizar con los juegos de operaciones SIMATIC e IEC 1131-3.
- El editor AWL se puede utilizar siempre para visualizar un programa creado con el editor SIMATIC KOP.

La lógica se divide en segmentos networks. El programa se ejecuta un segmento tras otro, de izquierda a derecha y luego de arriba abajo. Para observar el método de programación puede (ver el anexo C). Las operaciones se representan mediante símbolos gráficos que incluyen tres formas básicas. Los contactos se encargan de representar las condiciones lógicas de entrada, tales como interruptores, botones o condiciones Internas. Las bobinas representan condiciones lógicas de salida, tales como lámparas, arrancadores de motor, relés interpuestos o condiciones internas de salida. Los cuadros representan

operaciones adicionales, tales como temporizadores, contadores operaciones aritméticas.

3.2.4 Programar un contador rápido

El asistente de operaciones HSC se puede utilizar para configurar el contador. El asistente utiliza la siguiente información: tipo y modo del contador, valor predeterminado y valor actual del contador, así como sentido de conteo inicial. Para iniciar el asistente, se elige el comando de menú Herramientas > Asistente de operaciones y, a continuación, se selecciona el asistente HSC.

Para programar un contador rápido es preciso realizar las siguientes tareas básicas:

- Definir el contador y el modo.
- Ajustar el byte de control.
- Ajustar el valor actual (valor inicial).
- Ajustar el valor predeterminado (valor de destino).
- Asociar y habilitar la rutina de interrupción.
- Activar el contador rápido³⁴

Definir el modo del contador y las entradas

Utilizar la operación Definir modo para contador rápido para seleccionar el modo del contador y las entradas.

³⁴ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

Modo	Descripción	Entradas			
	HSC0	I0.0	I0.1	I0.2	
	HSC1	I0.6	I0.7	I1.0	I1.1
	HSC2	I1.2	I1.3	I1.4	I1.5
	HSC3	I0.1			
	HSC4	I0.3	I0.4	I0.5	
	HSC5	I0.4			
0	Contador de fase simple con control interno del sentido de conteo	Reloj			
1		Reloj		Puesta a 0	
2		Reloj		Puesta a 0	Arranque
3	Contador de fase simple con control externo del sentido de conteo	Reloj	Sentido		
4		Reloj	Sentido	Puesta a 0	
5		Reloj	Sentido	Puesta a 0	Arranque
6	Contador de dos fases con 2 entradas de reloj	Reloj adelante	Reloj atrás		
7		Reloj adelante	Reloj atrás	Puesta a 0	
8		Reloj adelante	Reloj atrás	Puesta a 0	Arranque
9	Contador A/B	Reloj A	Reloj B		
10		Reloj A	Reloj B	Puesta a 0	
11		Reloj A	Reloj B	Puesta a 0	Arranque
12	HSC0 y HSC3 son los únicos que soportan el modo 12. HSC0 cuenta el número de impulsos que salen de Q0.0. HSC3 cuenta el número de impulsos que salen de Q0.1.				

Tabla 6. Entradas correspondientes al reloj

La tabla 5 muestra las entradas correspondientes al reloj, el control del sentido, la puesta a 0 y las funciones de arranque de los contadores rápidos. Una misma entrada no se puede utilizar para dos funciones diferentes. Sin embargo, cualquier entrada que no se esté utilizando en el modo actual del contador rápido se puede usar para otro fin. Por ejemplo, si HSC0 se está utilizando en modo 1 (que utiliza las entradas I0.0 e I0.2), I0.1 se puede utilizar para interrupciones de flanco o para HSC3.³⁵

³⁵ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

3.2.5 Autosintonizar el PID y Panel de sintonía PID

La función de autosintonía PID se ha incorporado en las CPUs S7--200. STEP 7--Micro/WIN dispone de un Panel de control de sintonía PID. Ello mejora en gran medida y facilita el uso de la operación PID disponible en la gama de Micro--PLCs S7--200.

La autosintonía se puede iniciar en el programa de usuario bien sea desde un panel de operador, o bien desde el Panel de control de sintonía PID. Es posible autosintonizar los lazos PID individualmente (uno por uno) o simultáneamente (los ocho lazos de una sola vez).

La autosintonía PID calcula los valores de sintonía propuestos (casi óptimos) para la ganancia, el tiempo de acción integral y el tiempo de acción derivativa. Asimismo, permite seleccionar la sintonía de la respuesta rápida, media, lenta o muy lenta del lazo.

En el Panel de control de sintonía PID es posible iniciar y detener el proceso de autosintonía, así como vigilar los resultados en un gráfico. Allí se muestran también todas las condiciones de error o de advertencia que pudieran presentarse. Asimismo, el panel de control permite aplicar los valores de ganancia, acción integral y acción derivativa calculados por la autosintonía.

Panel de control de sintonía PID

STEP 7--Micro/WIN incluye un panel de control de sintonía PID que permite vigilar gráficamente el comportamiento de los lazos PID. Además, este panel sirve para iniciar y detener la secuencia de autosintonía, así como para aplicar los valores de sintonía propuestos, o bien sus propios valores de sintonía.

Para poder utilizar el panel de control, se deberá haber establecido un enlace con una CPU S7--200 y en ésta deberá existir una configuración de un lazo PID

generada con el asistente PID. La CPU deberá estar en modo RUN para que el funcionamiento PID pueda visualizarse en el panel de control.³⁶

La figura 21 muestra la pantalla estándar del panel de control.

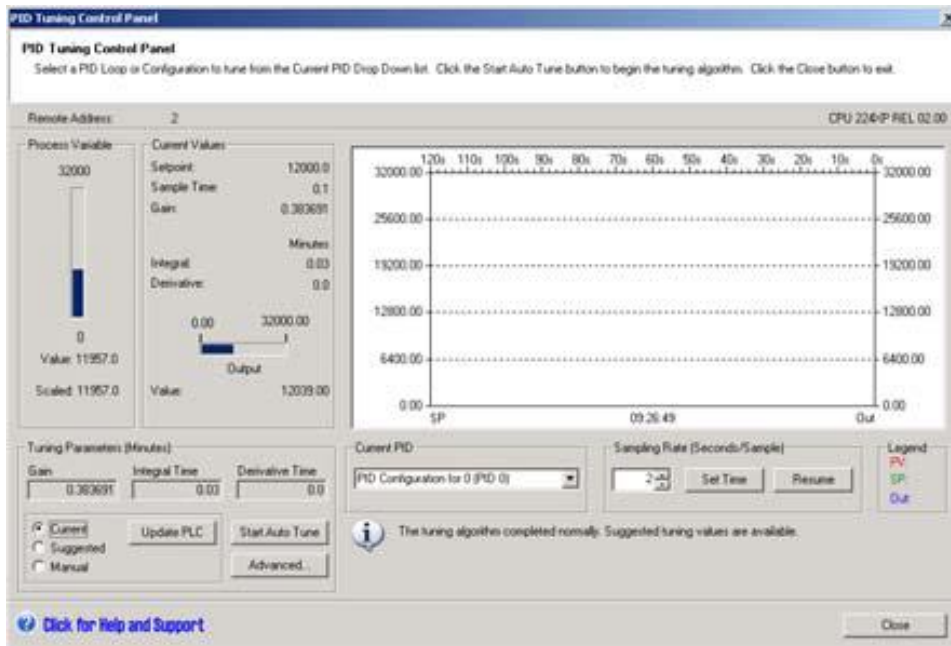


Figura 25. Panel de control de sintonía PID

³⁶ Manual del sistema de automatización S7-200. Ibid

4. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS OBTENIDOS

Este capítulo contiene una serie de pruebas experimentales realizadas a los dispositivos que intervienen en cada una de las etapas del proceso, permitiendo observar un comportamiento y verificación de su funcionamiento con el fin de realizar un análisis preciso.

4.1 PRUEBAS MECANICAS

Terminada la construcción de la mesa posicionadora x-y se procede a realizar pruebas de desplazamiento de la estructura para cada eje y en las dos direcciones posibles, con el fin de realizar los ajustes necesarios y colocar a punto esta parte del proceso teniendo en cuenta que es determinante para una buena visualización de desempeño del proceso controlado mediante los dispositivos electrónicos.

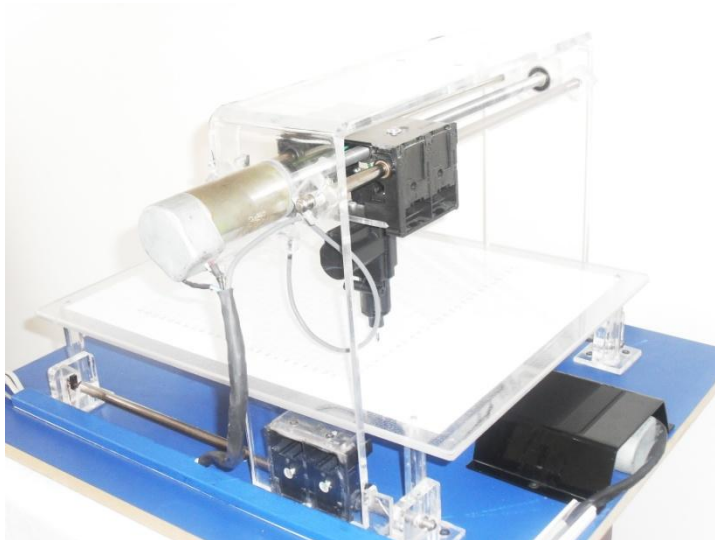


Figura 26. Mesa posicionadora x-y

Después de realizar las pruebas a la estructura mecánica se observa un buen desplazamiento en ambos sentidos para el eje x y el eje y, es importante mencionar que existen variables físicas como la fricción, la masa, acoples mecánicos del eje del motor con el tornillo sinfín, y el material de la estructura influye en el desplazamiento. Sin embargo esta situación no afecta en ningún sentido el cumplimiento de los objetivos propuestos.

4.2 PRUEBA DEL ENCODER INCREMENTAL

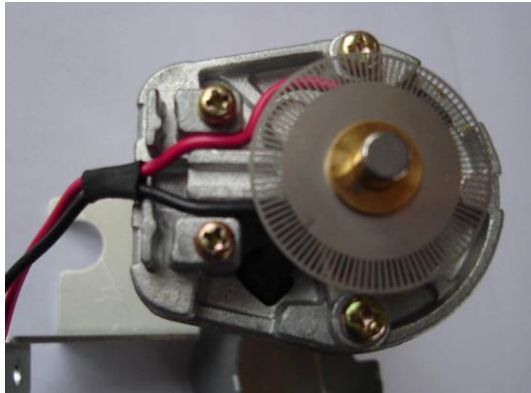


Figura 27. Motor encoder

El encoder de cada motor contiene un circuito electrónico que genera un tren de pulsos de 5V cada vez de detecta un movimiento en su eje. Este tren de pulsos no será detectado por el plc sin antes realizar un aumento en su voltaje a 24V. Esta función la realiza un acondicionador de señal construido por una par de transistores npn y pnp.

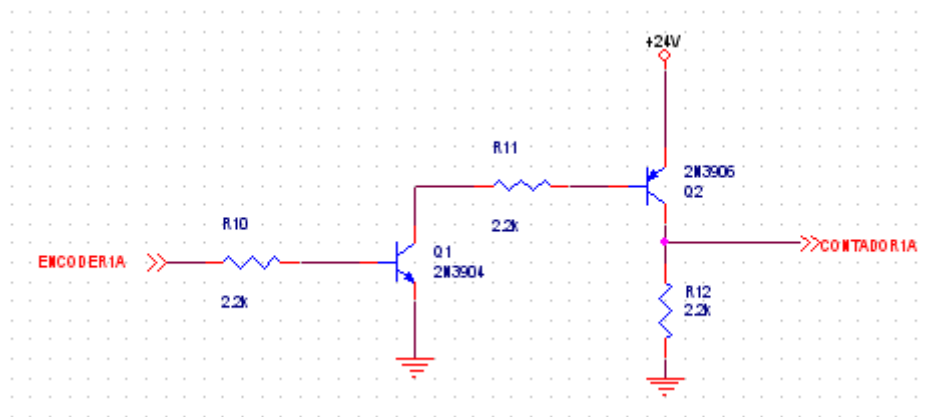


Figura 28. Acondicionador de señal

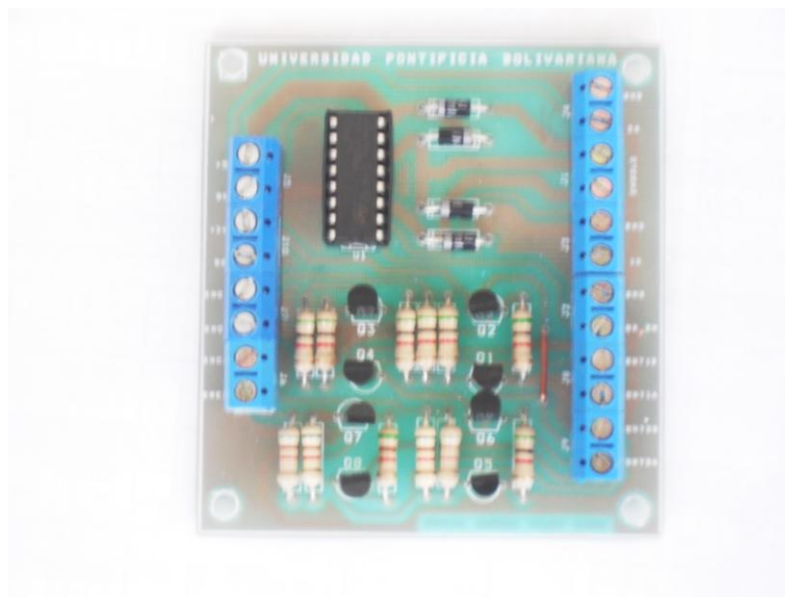


Figura 29. Tarjeta de control

La operación de este circuito es muy sencilla y considera que cada vez que ingresa una señal 5V por la entrada ENCODER1A se acciona el transistor Q1 y por ende el transistor Q2 entra en conducción colocando la salida CONTADOR1A en 24V.

En la figura 30 se observa la señal tomada a la salida del acondicionador de señal, en la cual se puede observar el tren de pulsos de 24V a una frecuencia máxima 2.2KHz aproximadamente.

Para esta prueba fue necesario accionar el motor a plena carga.

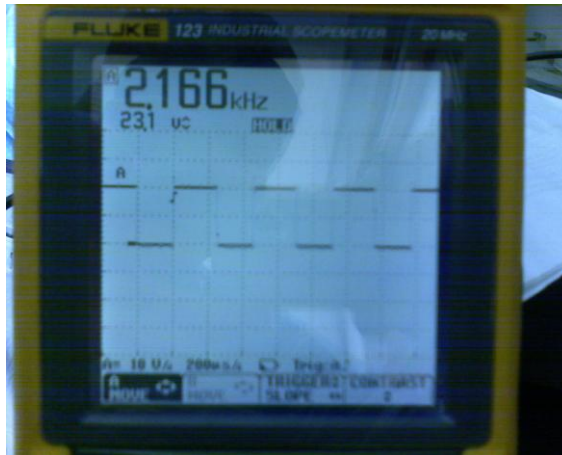


Figura 30. Señal de encoder

4.3 PRUEBAS CON EL DRIVER DE POTENCIA

El driver de potencia es una etapa imprescindible y de gran importancia dentro del proceso en el cual la estructura se desplaza de un lugar a otro ya que dicha etapa es la encargada de impulsar la corriente requerida por los motores de cc para desplazar la carga.

Es posible implementar un circuito capaz de impulsar corriente utilizando transistores de potencia como el TIP 35 y TIP 36 mediante una configuración en cascada, sin embargo en el mercado se encuentran circuitos integrados capaces de realizar dicha labor y cuentan con un significativo número de ventajas como es el caso de la segunda opción: el amplificador operacional de potencia OPA548 (para mas información remítase al anexo B).

Debido a un desbalance de temperatura presentado en la configuración realizada con los transistores de potencia TIP 35 y TIP 36, un mayor requerimiento de dispositivos electrónicos y un desbalance en el costo poco significativo con respecto al amplificador operacional de potencia OPA548 conlleva a tomar la decisión de utilizar la segunda opción como solución al requerimiento de corriente demandado por los motores de cc.

El circuito recomendado por el fabricante correspondiente al driver de potencia que se observa en la figura 31, este dispositivo tiene como característica una salida de corriente de hasta 5.A .

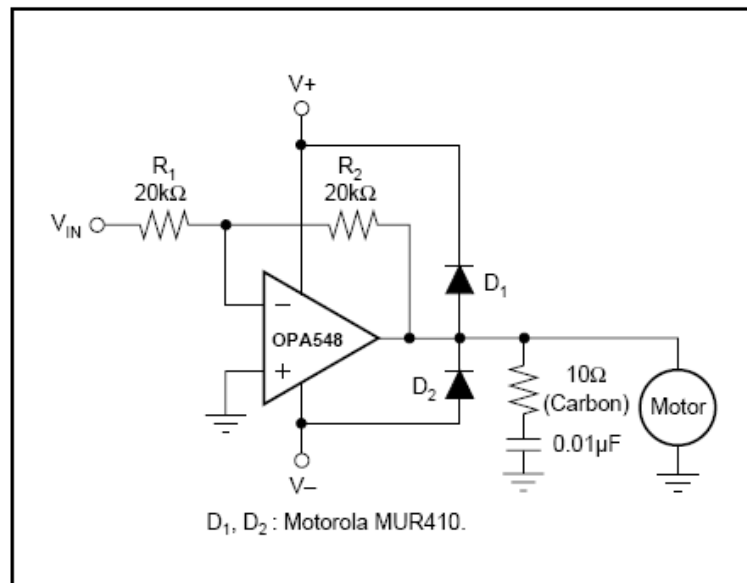


Figura 31. Driver de potencia del OPA 548

Inicialmente se realizaron pruebas utilizando una fuente externa para verificar la configuración seguidor emisor del OPA 548, posteriormente se realizaron pruebas experimentales con la estructura y se realizaron mediciones de corriente obteniendo como resultado un máximo paso de corriente de 1.5A resultando satisfactorios los resultados con la configuración propuesta por el fabricante.

El modulo de salidas análogas suministra una salida de voltaje entre -10 y +10 voltios y una corriente máxima de 20mA insuficiente para mover la estructura, luego esta señal de salida del modulo análogo es ingresada a la entrada del driver de potencia para ser amplificado en corriente y producir una respuesta en los motores.

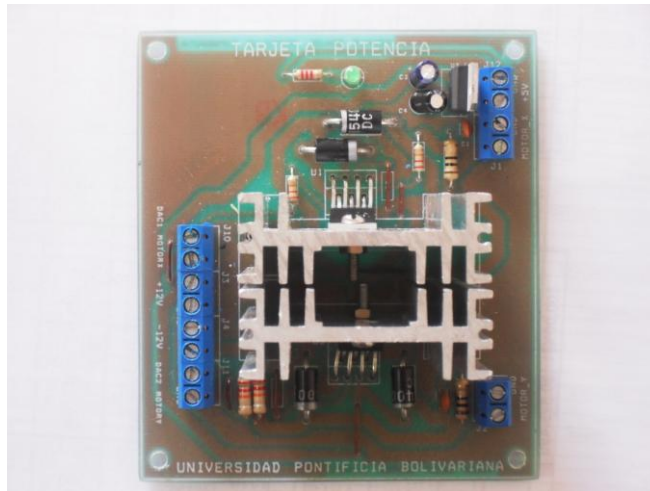


Figura 32. Tarjeta de potencia

4.4 NORMALIZACION

Para la correcta visualización en la pantalla del recorrido en milímetros fue necesario normalizar los pulsos contados por el PLC. Para ello se realizan pruebas en cada eje contando los pulsos que se generan al desplazarse hasta llegar al final de carrera.

Este proceso se realizó 5 veces consecutivas para cada eje sacando un promedio de los pulsos contados por el PLC como se muestra en la tabla 6.

NORMALIZACION COORDENADAS X y Y	
EJE X (216mm)	EJE Y (240mm)
11640 pulsos	12744 pulsos
11638 pulsos	12748 pulsos
11647 pulsos	12739 pulsos
11643 pulsos	12752 pulsos
11644 pulsos	12740 pulsos
PROMEDIO: 11642 pulsos	PROMEDIO: 12745 pulsos

Tabla 7 Datos obtenidos normalización coordenadas X y Y

4.5 PRUEBAS CON EL PID

El controlador PID fue programado en el PLC gracias al bloque de función PID incorporado en el S7-200 y al panel de sintonía que permite ajustar la constante integral y derivativa.

Teóricamente es posible que se pueda sintonizar un PID y calcular de forma exacta los coeficientes de control prediciendo los comportamientos de la máquina. Es importante resaltar que no se cuenta con los parámetros exactos de la estructura como fricción, inercia, pérdidas, masa etc. que permitan conocer el modelo matemático que la representa. Por tal motivo resulta mas practico identificar el comportamiento de la estructura utilizando el método de ajuste y observación asignando diferentes valores a las constantes del PID.

Teniendo en cuenta que la respuesta del motor acoplado al eje (x), es diferente a la respuesta del motor acoplado al eje (y), de la misma manera es necesario configurar un PID para cada eje coordenado, este procedimiento fue realizado después de observar el comportamiento del proceso en lazo abierto y descartar problemas en la normalización.

Posteriormente y después de conocer como funciona cada uno de los parámetros PID se procedió a sintonizar el PID por medio de ajuste y error.

Pruebas:

- Inicialmente se coloca el tiempo integral en 0 y el tiempo derivativo en 0 realizando un ajuste de la banda proporcional progresivamente, se observa la respuesta del motor y el comportamiento de la variable de proceso con respecto al set-point, de esta manera se visualiza que un aumento de k_p proporciona un tiempo de respuesta mas rápido hasta cierto valor en donde se produce una ganancia excesiva

y el eje del motor presenta inversiones de giro indeseadas debido al aumento excesivo de la banda proporcional.

- Una vez realizado este proceso de forma aleatoria y con distintos valores de k_p se escoge un valor que se traduzca en un comportamiento adecuado del motor y que a su vez responda de forma rápida sin producir demasiado offset.
- Debido a un ajuste de k_p adecuado y después de una cuidadosa observación del funcionamiento, se toma un valor de $k_p=4.2$ el cual evita un sobre impulso excesivo que cause problemas de oscilación.
- Después de realizar el ajuste de k_p se procede a ingresar un valor de tiempo integral t_i progresivamente y se observa el comportamiento después de realizar el proceso iterativamente se escoge un valor de $T_i=0.1$ que produce una reducción significativa del offset.
- El comportamiento del proceso utilizando la constante k_p y la constante k_i mencionadas en los puntos anteriores producen un respuesta satisfactoria. Seguidamente se ingresaron valores de tiempo derivativo t_d que volvieron mas inestable el sistema por tal motivo se decidió configurar un controlador proporcional integral PI.

Es importante tener presente que en la industria podemos encontrarnos con una situación similar por esto es recomendable tener en cuenta que la sintonización del PID esta ligada directamente al tipo de aplicación para la cual se requiera y se debe tener presente si el proceso al cual se le este sintonizando el PID presenta cambios en la carga.

Debe establecerse previamente un enlace entre la CPU S7-200 y el software STEP 7-Micro/WIN para utilizar el panel de control. En la CPU debe haber una configuración de un lazo PID generada con el asistente, el s7-200 deberá estar en

modo RUN para que el funcionamiento PID pueda visualizarse en el panel de control de sintonía.

Utilizando esta herramienta se realizó la sintonización del controlador PID para el motor encargado de ejecutar el desplazamiento en el eje (x) con el método expuesto anteriormente. En la grafica 33 se puede observar la respuesta del controlador para los valores en los cuales la variable de proceso alcanza el set-point de forma rápida sin presentar oscilaciones indeseadas.

La línea de color verde representa el set-point ingresado por el usuario, la línea roja representa la variable de proceso y la línea de color azul representa la respuesta del motor.

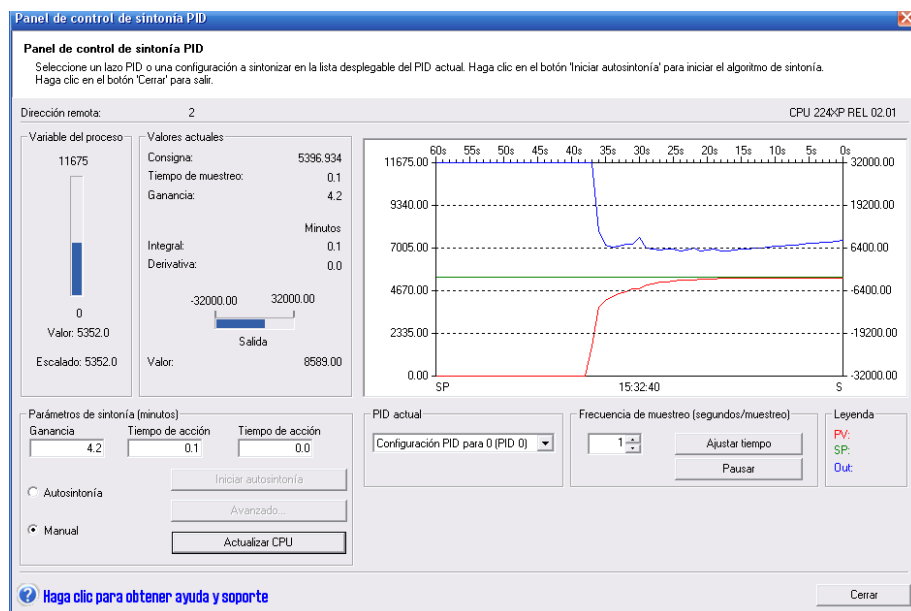


Figura 33. Respuesta al control PID con valores de $K_p=4.2$, $K_i=0.1$ y $K_d=0$

Otras pruebas realizadas para valores de $k_p=4,2$ $t_i=0,001$ $t_d=0,05$ muestran el comportamiento de motor, presentando oscilaciones indeseadas debido al exceso de ganancia derivativa como se muestra en la figura 34

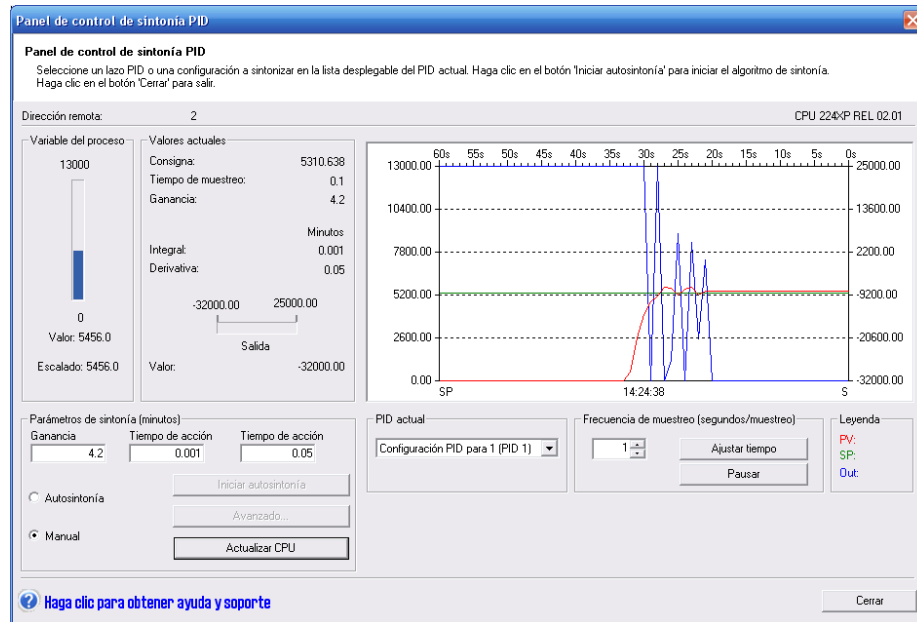


Figura 34. Respuesta al control PID con valores de $K_p=4.2$, $K_i=0.001$ y $K_d=0.05$

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado y construido un modelo mecánico a escala de una mesa de posicionamiento x-y cumpliendo con los requerimientos necesarios para realizar el desplazamiento y ubicación de las coordenadas x-y.
- Se han aplicado las herramientas propias del PLC SIEMENS S7-200 en el posicionamiento automático de la mesa x-y.
- se han implementado los contadores de alta velocidad del PLC SIEMENS que permiten realizar la adquisición de pulsos enviados por los codificadores.
- Se ha construido el driver de potencia capaz de impulsar la corriente requerida por los motores de cc demostrando un excelente desempeño en el momento de su operación.
- Se han configurado los distintos parámetros del modulo de salidas análogas EM232 aprovechando su resolución de 11 bit.
- Se ha programado e implementado un controlador PI utilizando el asistente de sintonía PID del software STEP 7--Micro/WIN
- Mediante ajuste y observación se ha comprobado que es posible realizar el ajuste de los coeficientes PID de la planta por medio de pruebas iterativas y con la ayuda grafica del panel de sintonía cuando no existe un modelo matemático de la planta.

BIBLIOGRAFIA

- BENAVENT GARCIA, José Manuel; ABELLAN GARCIA, Antonio; FIGUERES AMOROS, Emilio. Electrónica de potencia: Teoría y aplicaciones. Valencia: Servicio de Publicaciones, 1999
- MORENO, Emilio García. Automatización de Procesos Industriales. México: Alfaomega, 2001.
- Motor dc con encoder [Página de internet] En: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua.
- OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna 3ª edición. Madrid: Prentice Hall, 1998
- PALLAS ARENY, Ramón. Acondicionadores de señal. Barcelona: Marcombo, 2003
- SIEMENS. Manual del sistema de automatización S7-200. 2007
- SIEMENS. Manual de usuario WinCC flexible 2005. 2005
- SMITH, Carlos; CORRIPIO, Armando. Control automático de procesos. México: Limusa, 1991.
- VILLAMIZAR, Juan Carlos. Automatización de procesos industriales. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2003.

ANEXO A

DATASHEET

- OPA 548



Burr-Brown Products
from Texas Instruments



OPA548

SBOS070B – OCTOBER 1997 – OCTOBER 2003

High-Voltage, High-Current OPERATIONAL AMPLIFIER

FEATURES

- WIDE SUPPLY RANGE
Single Supply: +8V to +60V
Dual Supply: ± 4 V to ± 30 V
- HIGH OUTPUT CURRENT:
3A Continuous
5A Peak
- WIDE OUTPUT VOLTAGE SWING
- FULLY PROTECTED:
Thermal Shutdown
Adjustable Current Limit
- OUTPUT DISABLE CONTROL
- THERMAL SHUTDOWN INDICATOR
- HIGH SLEW RATE: 10V/ μ s
- LOW QUIESCENT CURRENT
- PACKAGES:
7-Lead TO-220, Zip and Straight Leads
7-Lead DPAK Surface-Mount

APPLICATIONS

- VALVE, ACTUATOR DRIVERS
- SYNCHRO, SERVO DRIVERS
- POWER SUPPLIES
- TEST EQUIPMENT
- TRANSDUCER EXCITATION
- AUDIO AMPLIFIERS

DESCRIPTION

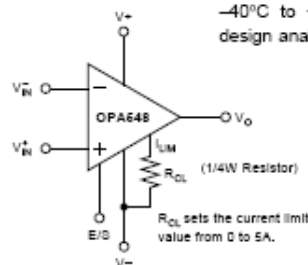
The OPA548 is a low-cost, high-voltage/high-current operational amplifier ideal for driving a wide variety of loads. A laser-trimmed monolithic integrated circuit provides excellent low-level signal accuracy and high output voltage and current.

The OPA548 operates from either single or dual supplies for design flexibility. In single-supply operation, the input common-mode range extends below ground.

The OPA548 is internally protected against over-temperature conditions and current overloads. In addition, the OPA548 was designed to provide an accurate, user-selected current limit. Unlike other designs which use a "power" resistor in series with the output current path, the OPA548 senses the load indirectly. This allows the current limit to be adjusted from 0A to 5A with a resistor/potentiometer or controlled digitally with a voltage-out or current-out DAC.

The Enable/Status (E/S) pin provides two functions. An input on the pin not only disables the output stage to effectively disconnect the load, but also reduces the quiescent current to conserve power. The E/S pin output can be monitored to determine if the OPA548 is in thermal shutdown.

The OPA548 is available in an industry-standard 7-lead staggered and straight lead TO-220 package, and a 7-lead DPAK surface-mount plastic power package. The copper tab allows easy mounting to a heat sink or circuit board for excellent thermal performance. It is specified for operation over the extended industrial temperature range, -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$. A SPICE macromodel is available for design analysis.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

Output Current	See SOA Curve
Supply Voltage, V_+ to V_-	80V
Input Voltage	(V_-) - 0.5V to (V_+) + 0.5V
Input Shutdown Voltage	V_+
Operating Temperature	-40°C to +125°C
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Junction Temperature	150°C
Lead Temperature (soldering 10s) ⁽²⁾	300°C

NOTES: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage.
(2) Vapor-phase or IR reflow techniques are recommended for soldering the OPA547F surface-mount package. Wave soldering is not recommended due to excessive thermal shock and "shadowing" of nearby devices.



ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

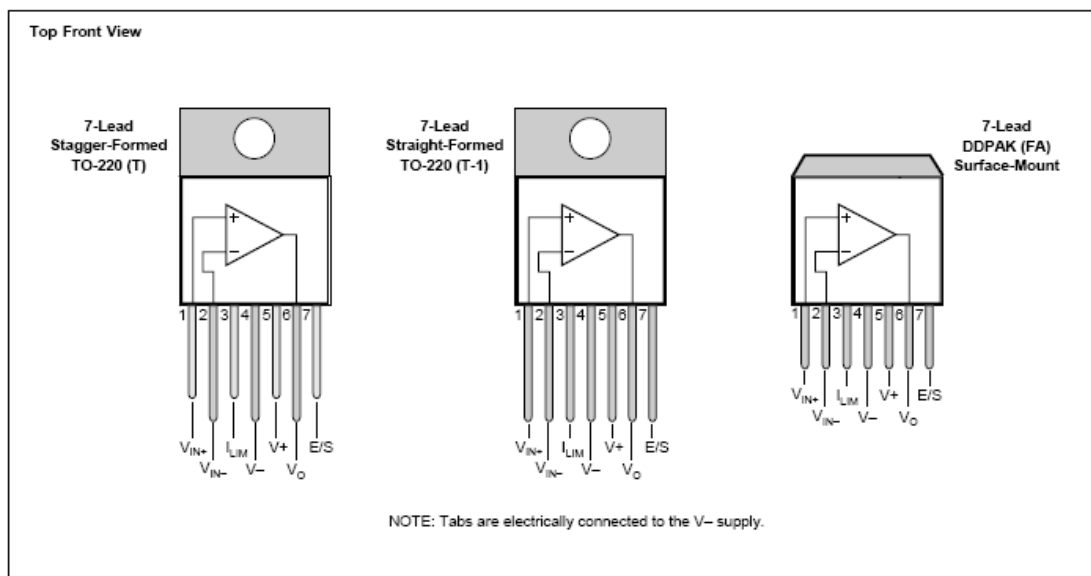
This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

PACKAGE/ORDERING INFORMATION

For the most current package and ordering information, see the Package Ordering Addendum at the end of this data sheet.

PIN CONFIGURATIONS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

At $T_{CASE} = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 30\text{V}$ and E/S pin open, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITION	OPA548T, F			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
OFFSET VOLTAGE					
Input Offset Voltage	$V_{CM} = 0$, $I_O = 0$		± 2	± 10	mV
vs Temperature	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$		± 30		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
vs Power Supply	$V_S = \pm 4\text{V}$ to $\pm 30\text{V}$		30	100	$\mu\text{V}/\text{V}$
INPUT BIAS CURRENT ⁽¹⁾					
Input Bias Current ⁽²⁾	$V_{CM} = 0\text{V}$		-100	-500	nA
vs Temperature	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$		± 0.5		$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$V_{CM} = 0\text{V}$		± 5	± 50	nA
NOISE					
Input Voltage Noise Density, $f = 1\text{kHz}$			90		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Current Noise Density, $f = 1\text{kHz}$			200		$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$
INPUT VOLTAGE RANGE					
Common-Mode Voltage Range: Positive	Linear Operation	$(V_+) - 3$	$(V_+) - 2.3$		V
Negative	Linear Operation	$(V_-) - 0.1$	$(V_-) - 0.2$		V
Common-Mode Rejection	$V_{CM} = (V_-) - 0.1\text{V}$ to $(V_+) - 3\text{V}$	80	95		dB

INPUT IMPEDANCE Differential Common-Mode			$10^7 \parallel 6$ $10^8 \parallel 4$	$\Omega \parallel \text{pF}$ $\Omega \parallel \text{pF}$
OPEN-LOOP GAIN Open-Loop Voltage Gain	$V_O = \pm 25\text{V}$, $R_L = 1\text{k}\Omega$ $V_O = \pm 25\text{V}$, $R_L = 8\Omega$	90	98 90	dB dB
FREQUENCY RESPONSE Gain-Bandwidth Product Slew Rate Full-Power Bandwidth Settling Time: $\pm 0.1\%$ Total Harmonic Distortion + Noise, $f = 1\text{kHz}$	$R_L = 8\Omega$ $G = 1$, 50Vp-p , $R_L = 8\Omega$ $G = -10$, 50V Step $R_L = 8\Omega$, $G = +3$, Power = 10W		1 10 See Typical Characteristics 15 $0.02^{(3)}$	MHz V/ μs kHz μs %
OUTPUT Voltage Output, Positive Negative Positive Negative Maximum Continuous Current Output: dc ac Leakage Current, Output Disabled, dc Output Current Limit Current Limit Range Current Limit Equation Current Limit Tolerance ⁽¹⁾ Capacitive Load Drive	$I_O = 3\text{A}$ $I_O = -3\text{A}$ $I_O = 0.8\text{A}$ $I_O = -0.8\text{A}$ $R_{CL} = 14.8\text{k}\Omega$ ($I_{LIM} = \pm 2.5\text{A}$), $R_L = 8\Omega$	$(V+) - 4.1$ $(V-) + 3.7$ $(V+) - 2.4$ $(V-) + 1.3$ ± 3 3 See Typical Characteristics $I_{LIM} = (15000)(4.75)/(13750\Omega + R_{CL})$ ± 100 See Typical Characteristics ⁽⁴⁾	$(V+) - 3.7$ $(V-) + 3.3$ $(V+) - 2.1$ $(V-) + 1.0$ 0 to ± 5 ± 250	V V V V A Arms A A mA
OUTPUT ENABLE /STATUS (E/S) PIN Shutdown Input Mode $V_{E/S}$ HIGH (output enabled) $V_{E/S}$ LOW (output disabled) $I_{E/S}$ HIGH (output enabled) $I_{E/S}$ LOW (output disabled) Output Disable Time Output Enable Time Thermal Shutdown Status Output Normal Operation Thermally Shutdown	E/S Pin Open or Forced High E/S Pin Forced Low E/S Pin High E/S Pin Low Sourcing $20\mu\text{A}$ Sinking $5\mu\text{A}$, $T_J > 180^\circ\text{C}$	$(V-) + 2.4$ $(V-) + 2.4$	 $(V-) + 3.5$ $(V-) + 0.35$	V V μA μA μs μs V V

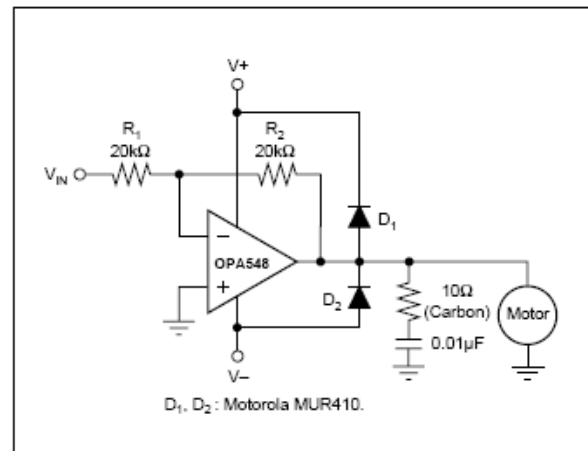
OUTPUT STAGE COMPENSATION

The complex load impedances common in power op amp applications can cause output stage instability. For normal operation output compensation circuitry is typically not required. However, if the OPA548 is intended to be driven into current limit, an R/C network may be required. See Figure 14 for an output series R/C compensation (snubber) network which generally provides excellent stability.

A snubber circuit may also enhance stability when driving large capacitive loads ($> 1000\text{pF}$) or inductive loads (motors, loads separated from the amplifier by long cables). Typically 3Ω to 10Ω in series with $0.01\mu\text{F}$ to $0.1\mu\text{F}$ is adequate. Some variations in circuit value may be required with certain loads.

OUTPUT PROTECTION

Reactive and EMF-generating loads can return load current to the amplifier, causing the output voltage to exceed the power-supply voltage. This damaging condition can be avoided with clamp diodes from the output terminal to the power supplies, as shown in Figure 14. Schottky rectifier diodes with a 5A or greater continuous rating are recommended.



- L293B



L293B
L293E

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVERS

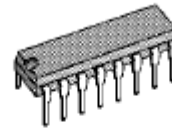
- OUTPUT CURRENT 1A PER CHANNEL
- PEAK OUTPUT CURRENT 2A PER CHANNEL (non repetitive)
- INHIBIT FACILITY
- HIGH NOISE IMMUNITY
- SEPARATE LOGIC SUPPLY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION

DESCRIPTION

The L293B and L293E are quad push-pull drivers capable of delivering output currents to 1A per channel. Each channel is controlled by a TTL-compatible logic input and each pair of drivers (a full bridge) is equipped with an inhibit input which turns off all four transistors. A separate supply input is provided for the logic so that it may be run off a lower voltage to reduce dissipation.

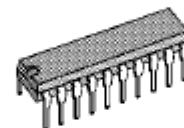
Additionally, the L293E has external connection of sensing resistors, for switchmode control.

The L293B and L293E are package in 16 and 20-pin plastic DIPs respectively ; both use the four center pins to conduct heat to the printed circuit board.



DIP16

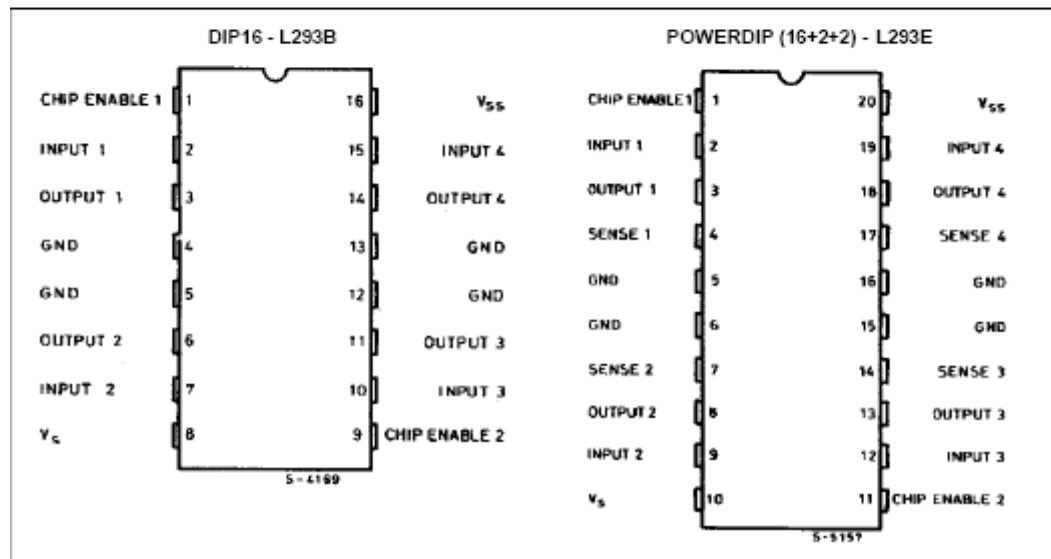
ORDERING NUMBER : L293B



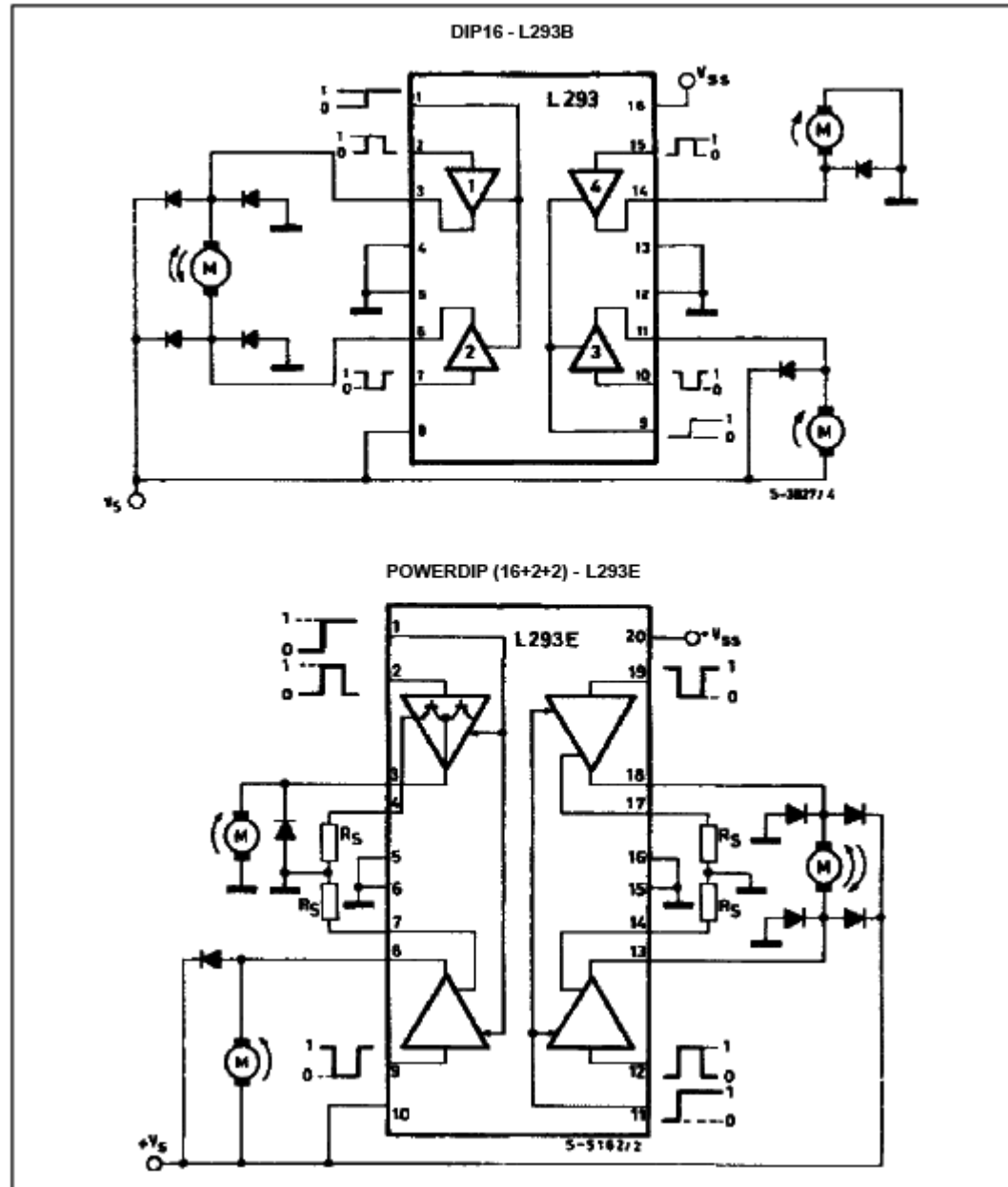
POWERDIP (16 + 2 + 2)

ORDERING NUMBER : L293E

PIN CONNECTIONS



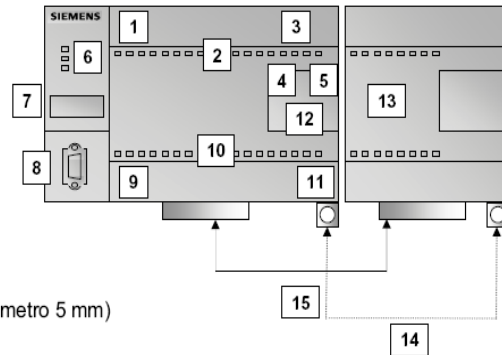
BLOCK DIAGRAMS



ANEXO B

• CARACTERISTICAS DE LOS PLC SIEMENS GAMA S7-200

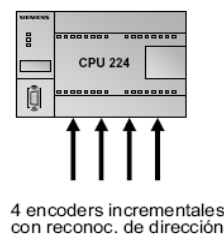
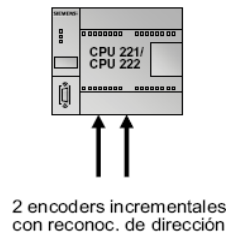
1. Salidas digitales integradas
2. LEDs de estado de las salidas digitales
3. Terminales de alimentación
4. Conmutador Stop/Run
5. Conector para el cable de ampliación
6. LEDs de estado de la CPU
7. Ranura para el cartucho de memoria
8. Puerto de comunicaciones (p. Ej. PPI)
9. Entradas digitales integradas
10. LEDs de estado de las entradas digitales
11. Fuente de alimentación integrada
12. Potenciómetros integrados
13. Módulo de ampliación
14. Fijadores para tornillo (DIN métrica M4, diámetro 5 mm)
15. Pestaña de fijación



	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 226
■ E/S integradas	6 DI / 4 DO	8 DI / 6 DO	14 DI / 10 DO	24 DI / 16 DO
■ Máx. nº E/S mediante EMs	-	32 / 32	80 / 64	104 / 104
■ Máx. nº de canales	10	78	168	248
■ Canales Analógicos (E/S/Canales)	-	8 / 4 / 10	28 / 14 / 35	28 / 14 / 35
■ Memoria de programa/datos	4 KB / 2 KB	4 KB / 2 KB	8 KB / 5 KB	8 KB / 5 KB
■ Tiempo de ejecución/instruc.	0,37 µs	0,37 µs	0,37 µs	0,37 µs
■ Marcas/Contad./Temporiz.	256/256/256	256/256/256	256/256/256	256/256/256
■ Contadores rápidos	4 x 30 kHz	4 x 30 kHz	6 x 30 kHz	6 x 30 kHz
■ Reloj en tiempo real	optional	optional	Si	Integrado
■ Salidas de impulsos	2 x 20 kHz	2 x 20 kHz	2 x 20 kHz	2 x 20 kHz
■ Puertos de comunicaciones	1 x RS 485	1 x RS 485	1 x RS 485	2 x RS 485
■ Potenciómetros analógicos	1	1	2	2

Contadores hardware integrados para encoders incrementales

- hasta 6 contadores rápidos
- hasta 30 kHz con funcionamiento independiente
- hasta 20 kHz con encoders incrementales de doble canal con reconocimiento de dirección
- sin influencia en el tiempo de ciclo



- MODULO DE SALIDAS ANALOGICAS EM232

Analog output module EM 232

Analog output module with 2 or 4 analogen outputs



Module	EM 232	EM 232
Number of outputs	2	4
Output type	0-10V / 0-20mA	0-10V / 0-20mA
Resolution	12 Bit voltage 11 Bit current	12 Bit voltage 11 Bit current
Isolation	no	no
Dimensions (W x H x D)	46 x 80 x 62 mm	71,2 x 80 x 62 mm