



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE “CONTROL DIGITAL DIRECTO”
(DDC). APLICACIÓN ESPECÍFICA: CONTROL DE
TEMPERATURA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Mario Rómulo Cuc Tarot

Asesorado por: Ing. Axel Wosbely Mendizábal Negro

Guatemala, septiembre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE “CONTROL DIGITAL DIRECTO” (DDC).
APLICACIÓN ESPECÍFICA: CONTROL DE TEMPERATURA DE UN
INTERCAMBIADOR DE CALOR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO RÓMULO CUC TAROT

ASESORADO POR: ING. AXEL WOSBELY MENDIZÁBAL NEGRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO
DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sidney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Poldszueck
EXAMINADOR	Ing. Edwin Alberto Solares Martínez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Urdiales Contreras
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier Gonzáles López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE “CONTROL DIGITAL DIRECTO” (DDC). APLICACIÓN ESPECÍFICA: CONTROL DE TEMPERATURA DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 5 de febrero de 2001.

Mario Rómulo Cuc Tarot

DEDICATORIA

- A DIOS** Por ser mi amigo fiel, el que me ayuda y guía en los buenos y malos momentos.
- A MIS PADRES** Mario Guillermo y Ana Leticia, por su apoyo incondicional y creer siempre en mí.
- A MI ESPOSA** Mónica, con todo mi amor, por ser la compañera de mi vida, el cumplimiento de este objetivo también es el de ella.
- A MI HIJA** Skarleth Denisse, como una muestra del cumplimiento de los objetivos que debe tener durante el transcurso de su vida.
- A MIS
HERMANAS** Frida, Heydi, Daylin y Evelyn, con mucho amor, por su cariño y comprensión.
- A MIS
ABUELITOS** Dominga Quim, Rómulo Tarot (Q.E.P.D.), Lidia Ponce Vda. de Tarot, por su apoyo brindado.
- A MI FAMILIA** Con profundo amor y cariño, porque este triunfo también es suyo; especialmente a la familia Estrada Tarot.
- Y A MIS AMIGOS
Y COMPAÑEROS** Por haber compartido momentos inolvidables y por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Ingeniería

A la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica,

Por ser la fuente de mis conocimientos adquiridos y darme albergue como mi casa de estudios.

Al Ingeniero

Axel Wosbely Mendizábal

Por su apoyo y dirección.

A los Ingenieros

Julio César Solares y

Enrique Ruiz Carballo

Por su comprensión y apoyo.

A las empresas y personal de GBM,

Ingenio “Santa Ana”, Alimentos “Maravilla”,

Maíz Industrializado de Centroamérica, S.A. y

Minsa Corporation

Por participar en mi formación profesional.

A todas las personas que de una u otra manera me dieron su apoyo durante esta etapa de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
HIPÓTESIS	IX
OBJETIVOS	X
INTRODUCCIÓN	XII
1. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS.....	1
1.1 Sistemas de control con retroalimentación	2
1.2 Elementos de un sistema de control con retroalimentación	3
1.3 Modos de control en sistemas en lazo con retroalimentación	6
1.4 Controladores digitales	13
1.5 Control por computador	15
2. INTERFASE DEL MUNDO ANALÓGICO CON EL DIGITAL .	19
2.1 Transductor	20
2.2 Convertidores digitales-analógicos (DAC)	21
2.3 Convertidor analógico-digital (ADC)	24
2.4 Computadora	26
2.5 Actuador	26
3. SISTEMAS DIGITALES CON MICROPROCESADORES	27
3.1 Microprocesador	27
3.2 Arquitectura de los microprocesadores	28
3.3 Elementos de un sistema digital con microprocesadores	30

4. DISEÑO DEL <i>HARDWARE</i> DEL SISTEMA.....	34
4.1 Puertos de control	34
4.2 Controlador digital	39
4.3 Puertos de lectura y escritura a la PC	43
4.4 Interfase con la PC	46
5. DISEÑO DEL PROGRAMA DEL CONTROLADOR	49
5.1 Módulo de inicialización	50
5.2 Módulo de señal analógica de entrada	51
5.3 Módulo de señal de temperatura de consigna	53
5.4 Módulo de calculo de error y signo	55
5.5 Módulo de señal de modo de control	56
5.6 Módulo de modo on/off	58
5.7 Módulo de modo proporcional	59
5.8 Módulo de modo proporcional + integral	61
5.9 Módulo de modo proporcional + integral + derivativo ..	72
5.10 Módulo de señal analógica de salida	80
6. DISEÑO DEL <i>SOFTWARE</i> DE INTERFASE DEL SISTEMA..	84
6.1 Módulo de visualización	85
6.2 Módulo de configuración	85
6.3 Módulo de comunicación	85
7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	94
7.1 Sección del hardware	94
7.2 Sección de programación assembler.....	95
7.3 Sección de programación en alto nivel	100
7.4 Puesta en marcha	100
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sistema de control por acción precalculada	1
2	Sistema de control con retroalimentación	3
3	Elementos de un sistema de control con retroalimentación	4
4	Control de encendido-apagado	7
5	Control proporcional	8
6	Banda proporcional	9
7	Control proporcional más integral	10
8	Control proporcional más derivativo	12
9	Control DDC	17
10	Interfases analógicas-digitales	20
11	Convertidor D/A de 4 bits con salida de voltaje	21
12	DAC con amplificador operacional en configuración sumador	23
13	ADC de aproximaciones sucesivas	24
14	Estructura del microprocesador	28
15	Estructura de una computadora	31
16	Diagrama del sistema	34
17	Puertos de control	38
18	Controlador digital	42
19	Puertos de lectura	44
20	Puertos de escritura	45
21	Interfase a la PC	48
22	Diagrama de flujo del programa del controlador digital	49
23	Estructura del <i>software</i> de interfase del sistema	84

TABLAS

I	Proporcionalidad entre temperatura, corriente y voltaje de entrada y entrada binaria	35
II	Proporcionalidad entre salida binaria, voltaje, corriente de salida y porcentaje de apertura de la válvula	37
III	Direcciones utilizadas	39
IV	Codificación de datos	40
V	Puertos con la PC	43
VI	Puertos con el controlador digital	46
VII	Codificación de datos PC	47
VIII	Procesos precalculados "A"	97
IX	Procesos precalculados "B"	98
X	Procesos precalculados "C"	99
XI	Procesos precalculados "D"	102
XII	Procesos precalculados "E"	103
XIII	Procesos precalculados "F"	104
XIV	Procesos precalculados "G"	105

GLOSARIO

- CMOS** (semiconductor complementario de óxido metálico). Familia de circuitos electrónicos donde su circuito básico, es el inversor basada en transistores de efecto campo de metal óxido, con dispositivos de canal n y p fabricados sobre el mismo sustrato.
- IC** (circuito integrado). Es un cristal semiconductor pequeño de silicio que contiene componentes eléctricos como transistores, diodos, resistores y capacitores. Interconectados para formar un circuito electrónico montados sobre un paquete de metal o plástico con conexiones externas.
- ISA** (industry standard architecture). Protocolo de comunicación y componentes para conectar tarjetas de uso específico a una computadora. Con parámetros máximos de comunicación de 16 bits en datos, 8 MHz. de velocidad de reloj y transferencia de 5MB. por segundo.
- LSB** (low significant bit). Dentro de un conjunto de bits que formen un byte o una palabra el LSB es el bit menos significativo.

MSB	(most significant bit) . Dentro de un conjunto de bits que formen un byte o una palabra el MSB es el bit mas significativo.
Multiplexor	Circuito combinacional que selecciona información binaria de una de varias líneas de entrada y la dirige a una sola línea de salida.
PCI	(Peripheral Component Interconnect) . Protocolo de comunicaciones y componentes para conectar tarjetas de uso específico a una computadora. Permite mayor velocidad de transferencia y ancho de bits que el bus ISA.
PIC	(peripheral interface controller) . Dispositivo programable con periféricos y memoria incluidos.
TTL	(lógica transistor transistor) . Familia de circuitos electrónicos donde su circuito básico es la compuerta NAND construida con lógica transistor transistor.
USB	(universal serial bus) . Protocolo de comunicaciones y componentes para conectar dispositivos externos a una computadora. Sus ventajas principales son: su velocidad de transferencia de datos, conexión externa, conexión sin necesidad de apagar el equipo.
VISUAL C++	Lenguaje de programación de alto nivel, para desarrollar aplicaciones en entorno Windows.

RESUMEN

Debido al crecimiento del uso de controladores de procesos en la industria guatemalteca y la dificultad para conceptualizar su operación y su configuración, se tiene la necesidad de desarrollar un sistema de control que pueda ser visualizado y configurado por medio de una interfase amigable, lo que permitiría una sintonización mas eficiente; tenga la capacidad de almacenar datos, realizar gráficas de tendencias y la posibilidad de generar reportes. Además tenga la posibilidad de establecer una forma de control mas avanzada o bien de ofrecer la posibilidad de crecimiento sin tener que realizar grandes inversiones.

Estudios universitarios sobre el tema de instrumentación industrial y sistemas de control han sido tratados como aplicaciones específicas de equipos ofrecidos en forma comercial, sin llegar al diseño del sistema en su totalidad, incluyendo la parte tanto del hardware como software.

Por lo tanto, se toma la decisión de realizar el diseño de un sistema de control, estableciendo las limitantes siguientes: realizar el diseño para un único lazo de control, permitir la visualización de las variables de proceso y de configuración del lazo, pero, no su almacenamiento, y la utilización de formas de control tradicionales. Aunque estas limitantes deben tomarse como posibles caminos para el crecimiento del proyecto. En esta fase de desarrollo aumentarían enormemente la complejidad y el tiempo empleado, además, se perdería el sentido de aplicación sencilla y barata.

Por lo tanto, se toma como base el diseño de un sistema DDC (Direct Digital Control), que utiliza a un microprocesador dedicado al control, mientras mantiene comunicación con una interfase que le da señales de consigna y control, además permite su visualización en el monitor de una computadora personal.

Para las herramientas y materiales utilizados en el desarrollo se toma en cuenta principalmente la experiencia en el uso de ellas, por ejemplo, se toma la decisión de utilizar el microprocesador Zilog Z-80 debido a su extendido uso en el ámbito académico, los proyectos desarrollados anteriormente en los laboratorios, la facilidad de adquirir documentación, aunque el uso de PIC se este extendiendo grandemente pero el Z-80 sigue consiguiéndose en el mercado a precios accesibles; el uso de la interfase ISA, aunque casi en desuso aun sigue presentándose como la interfase interna mas fácil de programar debido a los problemas de conseguir documentación sobre la programación del PCI, la falta de experiencia en la programación de interfases como USB, además de que le permite al usuario el uso de computadoras que generalmente son desechadas para uso de oficina como plataformas para utilizarlas únicamente para control; para el desarrollo de la interfase visual se tomo la decisión de utilizar el lenguaje de programación Visual C ++ debido a que es la principal herramienta para el desarrollo de aplicaciones para Windows con capacidad de poder acceder al hardware de la PC.

HIPÓTESIS

Se puede realizar el diseño de un sistema que utilice elementos digitales y una computadora personal para establecer un sistema de control, donde el controlador esté basado en software estableciendo interfaces analógico-digitales para su comunicación con parámetros normalizados tanto de lectura como escritura en la forma de señal analógica de 4-20 mA., además que se pueda configurar y visualizar por medio de interfases gráficas.

OBJETIVOS

General

Diseño de un sistema de “control digital directo” (DDC) para poder establecer estrategias de control en base a la lectura de una señal normalizada de 4-20 mA. y llegar a controlar un proceso (temperatura de un intercambiador de calor) mediante la actuación sobre un elemento final de control por medio de una señal normalizada de 4-20mA., además que tenga la posibilidad de tener interfases gráficas para su configuración y la visualización del proceso.

Específicos

- 1 Describir un sistema de control con retroalimentación y sus diversos componentes.
- 2 Describir los modos de control en sistemas en lazo con retroalimentación.
- 3 Describir los diversos tipos de interfaces entre señales analógico-digitales y señales digitales-analógicas.
- 4 Describir la arquitectura de sistemas digitales con microprocesadores, así como sus diversos componentes.

- 5 Seleccionar los componentes a utilizar en el diseño del sistema de control digital directo.
- 6 Diseñar el programa en lenguaje de bajo nivel que será utilizado por el microprocesador para funcionar como controlador.
- 7 Diseñar el software que realizará la interfase gráfica y configuración del sistema de “control digital directo”.

INTRODUCCIÓN

Un sistema de “control digital directo” (DDC, direct digital control) es un sistema basado en microprocesadores aplicado hacia el área del control automático de procesos, donde la función principal es desarrollada por un microprocesador que toma decisiones basándose en su programación y en una señal de entrada para mantener en un valor deseado una característica del proceso; estando el microprocesador y sus componentes auxiliares conectados al bus de una computadora personal que realiza funciones de visualización y configuración. Siendo este un sistema abierto a cualquier tipo de procesos donde solo se emplee un lazo de control, por motivos de ejemplificación se hará el control de temperatura de un intercambiador de calor.

El objetivo del sistema DDC es establecer un control automático para una variable normalizada de 4-20 mA., que será leída por medio de un convertidor analógico digital, dicha variable será una medida de algún parámetro físico (temperatura, presión, flujo, etc.) de un proceso elegido en este caso temperatura, obteniéndose los datos en forma digital.

Al procesar la señal digital de entrada, el microprocesador generará una señal de salida en base al tipo de control configurado, utilizándose un convertidor digital analógico para convertirla en forma de corriente de 4-20 mA. Dicha variable será utilizada por el actuador del elemento final de control para regular el proceso deseado, en este caso una válvula de vapor que regulará la temperatura del intercambiador de calor. Todos estos elementos estarán

montados en una tarjeta prototipo conectada al bus de la computadora personal.

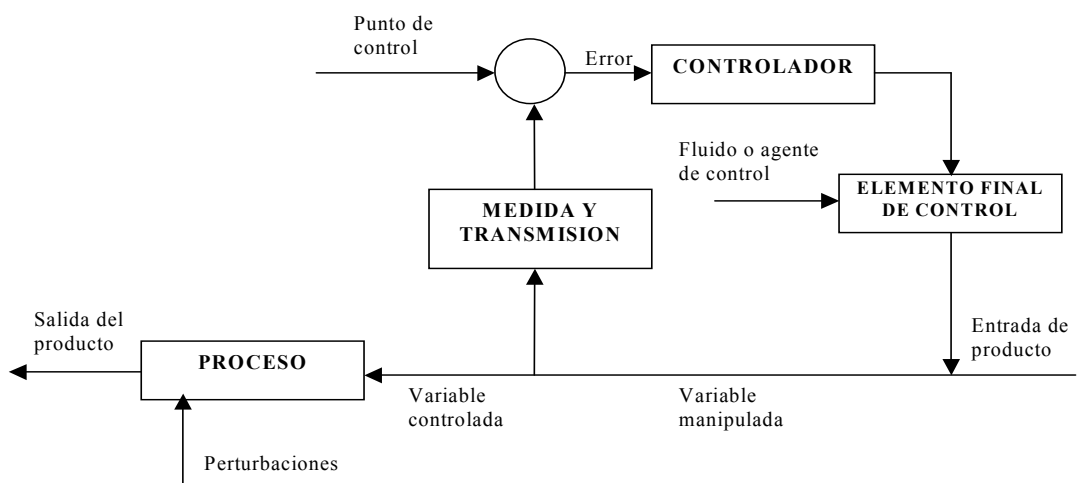
El software de interfase y comunicación hacia la tarjeta prototipo será desarrollado por medio del lenguaje de programación de alto nivel, presentará una interfase gráfica donde se pueda configurar el tipo de control que se pueda desarrollar siendo estos: a) encendido-apagado (on-off), b) proporcional, c) proporcional más integral, d) proporcional más derivativo, e) proporcional más integral más derivativo, además se podrá esquematizar en forma gráfica el proceso (intercambiador de calor).

1. CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS

En las plantas de procesos debido a la existencia generalmente de gran cantidad de variables que se deben mantener en un valor determinado, para lograrlo de forma manual se debe desarrollar un procedimiento de corrección que requeriría un número elevado de operarios, adicionalmente un alto porcentaje de error humano, por lo tanto, se establece la posibilidad de desarrollar el control de manera automática, lo que significa contar con instrumentos y mecanismos que controlen las variables sin necesidad de la intervención del operador.

Se cuentan con diversas configuraciones para poder establecer un control automático sobre un proceso determinado siendo estas: el sistema de control con retroalimentación, el sistema de control por acción precalculada o bien una combinación de ambos. En la figura 1, se observa un sistema de control por acción precalculada junto a sus elementos.

Figura 1. Sistema de Control por Acción Precalculada



En el **sistema de control por acción precalculada**, las perturbaciones de proceso se miden y compensan sin esperar a que un cambio en la variable controlada indique que ha ocurrido una perturbación. Es muy útil cuando la variable controlada final no se puede medir o bien cuando se tiene bien definido el modelo del proceso.

1.1 Sistemas de control con retroalimentación

Los sistemas de control con retroalimentación forman parte de nuestra vida cotidiana, por ejemplo, el conducir el automóvil, en el cual la carretera es el objetivo que se desea tener, la forma de obtenerlo es controlando la dirección de volante, se comprueba que realmente se está tomando la dirección correcta por medio de la función de medición que se realiza por medio de la vista y tomando las decisiones de corrección por medio del cerebro del conductor.

Definiendo retroalimentación como la propiedad de un sistema en lazo cerrado, ya que permite que la salida se compare con la entrada del sistema, de tal manera que la acción de control a realizar se tomará sobre la base de alguna función de la entrada y salida.

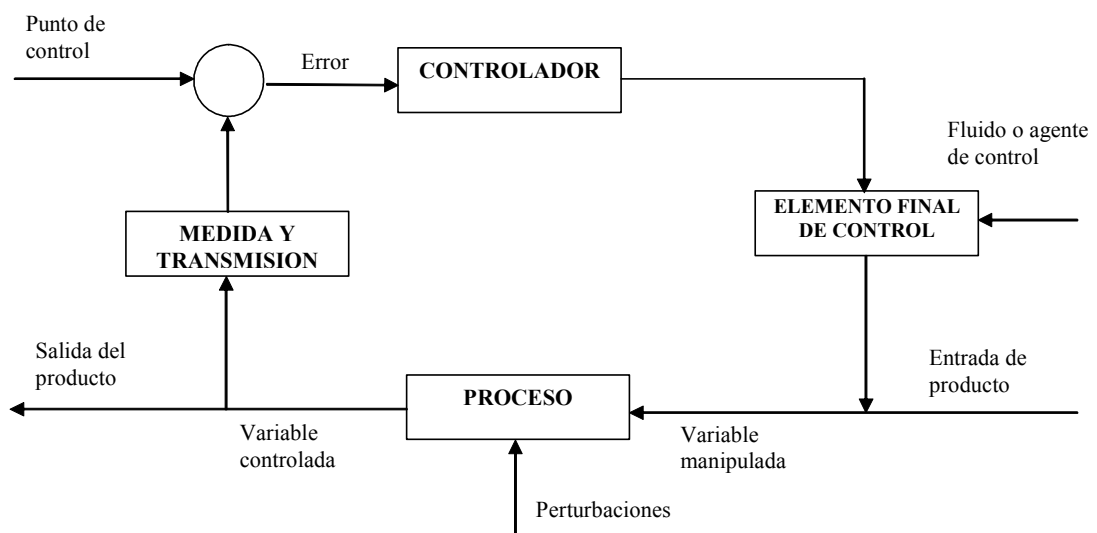
En el sistema de control de circuito cerrado, la información sobre la variable controlada se vuelve a alimentar como base para controlar una variable de proceso, de donde se le designa como control de retroalimentación o alimentación inversa de circuito cerrado. Esta retroalimentación se logra a través de la acción de un operador (control manual) o por medio de instrumentos (control automático).

Se implementan sistemas de control con retroalimentación para controlar variables como temperatura, presión, nivel, ph, conductividad, posición,

velocidad, etc., dependiendo directamente del tipo de proceso, condiciones económicas, facilidades de medición de variables, etc. Todos estos factores deben ser tomados en cuenta por el ingeniero de instrumentación para elegir los elementos que formarán su sistema de control.

En la figura 2, se presenta un esquema de bloques de un sistema de control con retroalimentación junto a los elementos que lo comprenden.

Figura 2. Sistema de Control con Retroalimentación

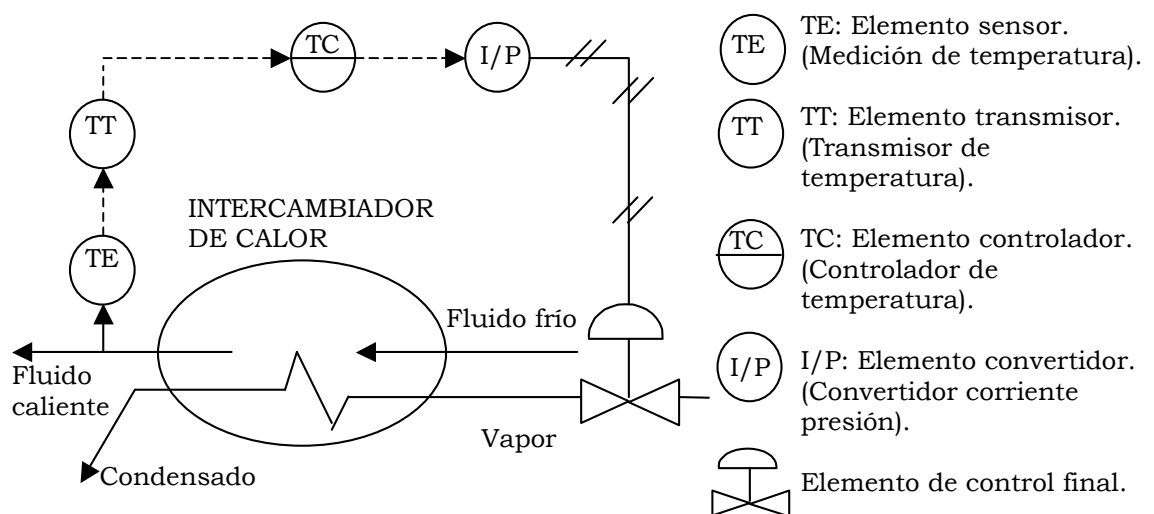


1.2 Elementos de un sistema de control con retroalimentación

Para establecer un sistema de control con retroalimentación se debe contar con varios elementos que realizan las funciones básicas de medición, decisión, ejecución, a medida que se aumenta la complejidad del sistema pueden ir aumentando los elementos. En la figura 3, se ejemplifica un intercambiador de calor y sus elementos de control con retroalimentación: SENSOR o elemento primario (TE, termopar); TRANSMISOR o elemento

secundario (TT, transmisor de temperatura), estos dos elementos realizan la función de medición de la variable; CONTROLADOR o cerebro del sistema de control (TC, controlador de temperatura), realiza la función de decisión de la acción a realizar para mantener la variable en el valor deseado; CONVERTIDOR (I/P, convertidor corriente-presión), convierte una señal eléctrica en neumática o viceversa, ELEMENTO FINAL DE CONTROL (válvula neumática), es el que efectúa la acción indicada por el controlador para mantener la variable en el valor requerido por el proceso.

Figura 3. Elementos de un sistema de control con retroalimentación



Sensores o elementos primarios. Los elementos primarios están en contacto con la variable de proceso y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación. El efecto producido por el elemento primario puede ser un cambio de presión, fuerza, posición, medición

eléctrica, etc. Por ejemplo, en elementos primarios de temperatura tipo termopar se presenta una variación de fuerza electromotriz.

Transmisores. Son instrumentos que captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia a un instrumento receptor que tenga la función de indicador, registrador, controlador o combinación de estos. El elemento primario puede o no formar parte integral del transmisor.

La forma de transmisión puede ser en forma de señal neumática (de margen de 3 a 15 psi.) o bien electrónica (de margen de 4 a 20 mA. de corriente continua), aunque algunos transmisores inteligentes transmiten directamente en modo digital, la cual depende esencialmente del fabricante.

Convertidores. Son aparatos que reciben una señal de entrada neumática (3-15 psi.) o electrónica (4-20 mA. c.c.) procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar. Por ejemplo, un convertidor P/I (señal de entrada neumática a señal de salida electrónica) o un convertidor I/P (señal de entrada eléctrica a señal de salida neumática).

Controladores. Son los que comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación, además de la selección del modo de control a operar.

La variable controlada la pueden recibir directamente, como controladores locales o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor.

Elemento final de control. Recibe la señal del controlador y modifica el caudal del fluido o agente de control. Puede ser una válvula neumática que efectúa su

carrera completa de 3 a 15 psi., dicha señal se obtiene de los convertidores I/P (que ha convertido de 4 – 20 mA.), o bien una válvula motorizada accionada por un servomotor eléctrico. Debido a la confiabilidad en los sistemas electrónicos existe auge sobre el uso de los variadores de velocidad como elementos finales de control, recibiendo directamente las señales electrónicas de 4 – 20 mA. desde el controlador.

1.3 Modos de control en sistemas en lazo con retroalimentación

En los inicios de la era industrial, el control de procesos se realizaba mediante tanteo, intuición y en la experiencia acumulada de parte de los operadores, pero, debido a las exigencias del mercado se fueron desarrollando teorías del modo de controlar los procesos. A raíz de estas teorías fueron creándose los controladores que representan el cerebro del sistema. Estos realizan dos funciones esenciales:

Comparan la variable medida con la de referencia o deseada (punto de consigna) para determinar el error.

Estabiliza el funcionamiento dinámico del bucle de control mediante circuitos especiales para reducir o eliminar el error.

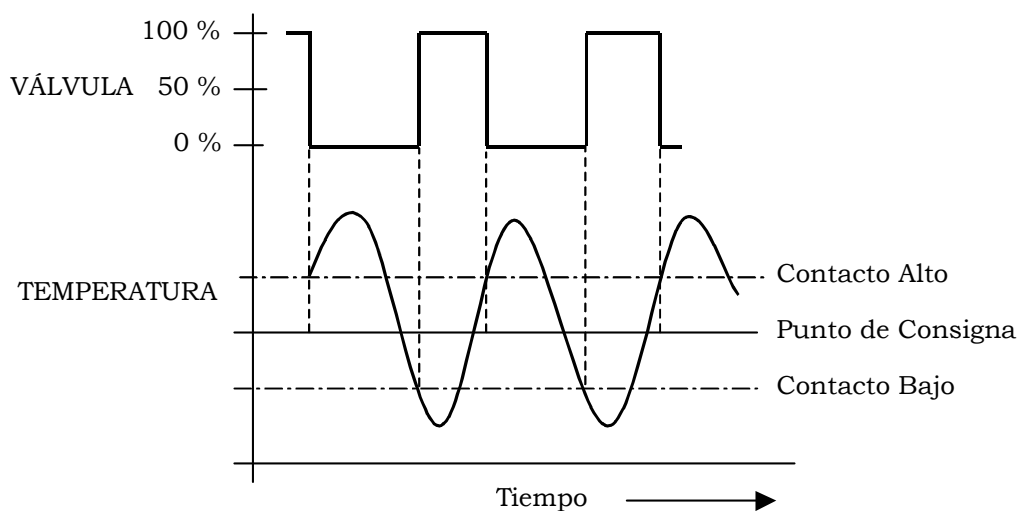
La reacción de un controlador a una señal de error es una forma de indicación del modo de control. En general se aceptan cinco modos básicos: a) encendido-apagado (*on-off*), b) proporcional, c) proporcional más integral, d) proporcional más derivativo, e) proporcional más integral más derivativo.

Control de encendido-apagado (*on-off*). En este modo de control, el dispositivo corrector final sólo tiene dos posiciones o estados de operación. Si

la señal de error es positiva, el controlador envía el dispositivo corrector final a una de las dos posiciones. Si la señal de error es negativa, el controlador envía el dispositivo corrector final hacia la otra posición. Este tipo de control se emplea usualmente con una banda diferencial o zona neutra en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores de la variable comprendidos dentro de la banda diferencial. Los ajustes del control se basan en variar el punto de consigna y la banda diferencial.

Es evidente que la variable controlada oscila continuamente y que estas oscilaciones variarían en frecuencia y magnitud si se presentan cambios de carga en el proceso.

Figura 4. Control de encendido-apagado

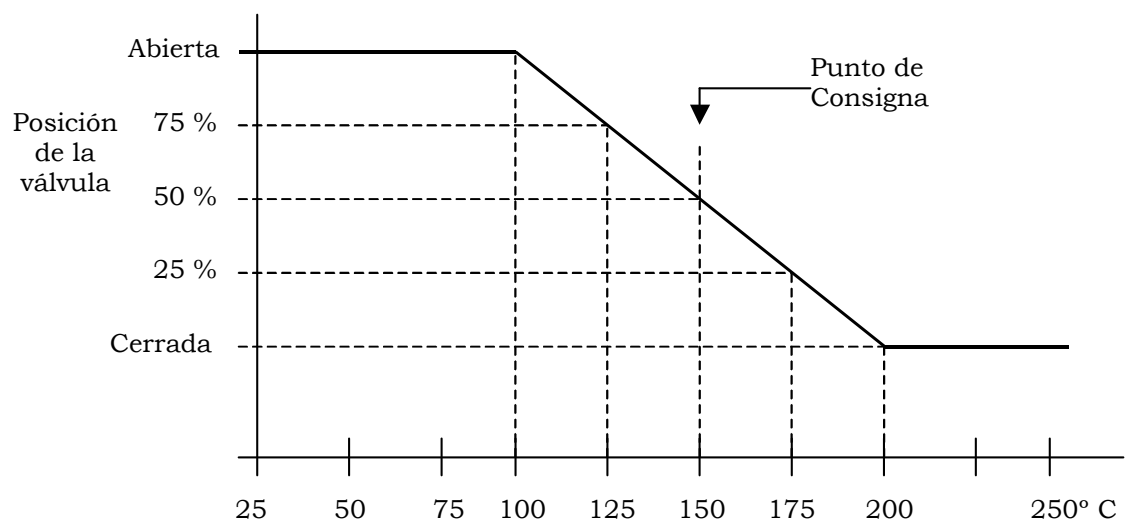


Control proporcional. En el modo de control proporcional, el dispositivo corrector final no es obligado a tomar una posición de todo o nada. Sin embargo, tiene un rango continuo de posiciones posibles. Existe una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento

final de control (dentro de la banda proporcional). Es decir, la válvula se mueve el mismo valor por cada unidad de desviación.

En la figura 5, se observa la reacción de un controlador proporcional y su punto de consigna es 150° C. El intervalo de actuación es de 100-200° C. Cuando la variable controlada está en 100° C o menos la válvula está totalmente abierta; a 200° C o más está totalmente cerrada y entre 100 y 200° C la posición de la válvula es proporcional al valor de la variable controlada. Por ejemplo, a 125° C está abierta en un 75%; a 150° C en un 50%.

Figura 5. Control proporcional



La ganancia del controlador proporcional será la relación entre la variación en la señal de salida y el error que la produce (diferencia entre la variable y el punto de consigna). Muchos controladores utilizan en lugar de ganancia la denominada banda proporcional que es la inversa de la ganancia.

$$BP\% = \frac{100\%}{K}$$

BP%: Banda proporcional en porcentaje.

K: Ganancia del controlador.

La banda proporcional es el porcentaje de variación de la variable controlada y necesaria para provocar una carrera completa del elemento final de control, se expresa usualmente en tanto por ciento de su campo de medida total. Por ejemplo, si la escala del instrumento es 200° C, y se necesitan 50° C de cambio para provocar una carrera total de la válvula, el tanto por ciento de la banda proporcional es de 50/200 igual a 25%. En la figura 6, se explica el concepto de banda proporcional en tanto por ciento, nótese que la banda proporcional a 100% no puede causar una carrera total incluso para un cambio completo en la variable controlada.

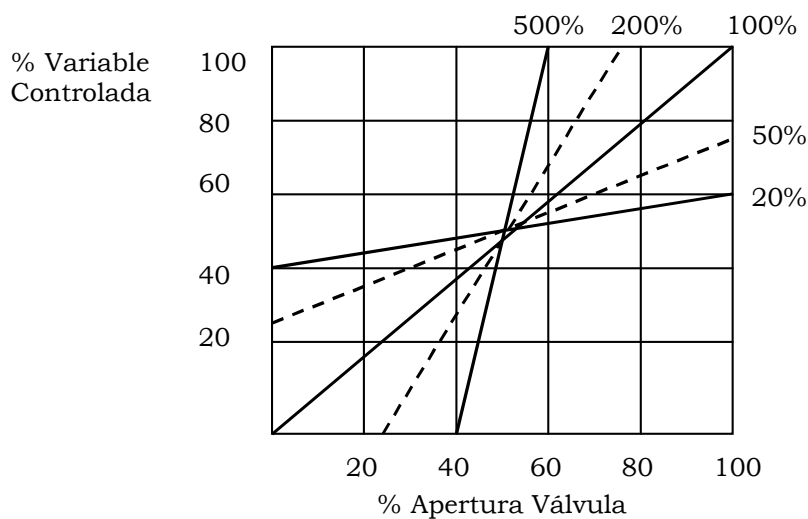
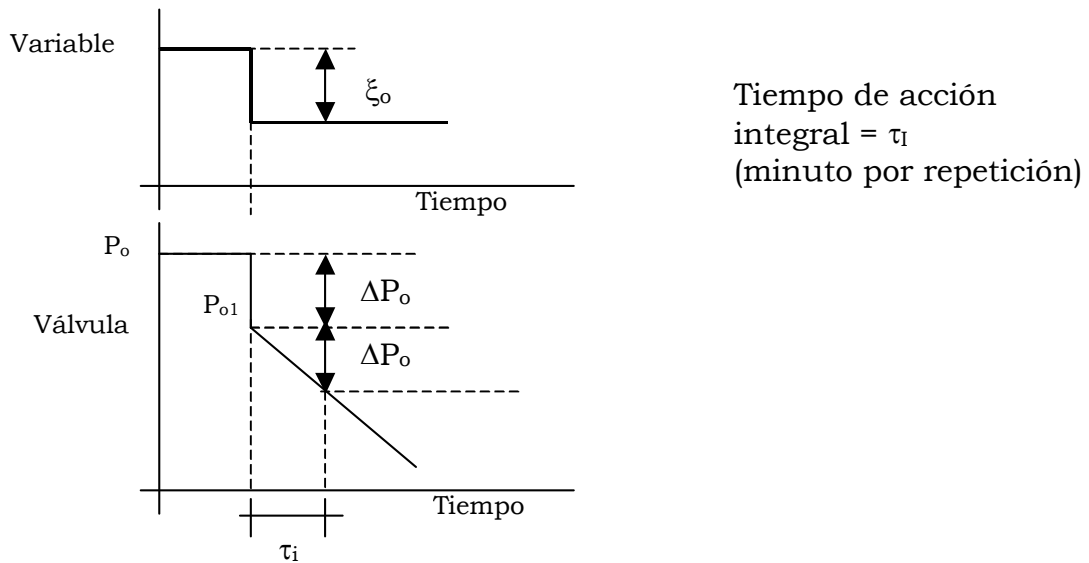


Figura 6. Banda proporcional

Figura 7. Control proporcional más integral



Control proporcional más integral. La posición del dispositivo de corrección final depende de dos variables. La parte proporcional que establece la posición depende de la magnitud de la señal de error, mientras que la parte integral establece la integral del tiempo de la señal de error o la magnitud de error multiplicada por el tiempo que ha persistido.

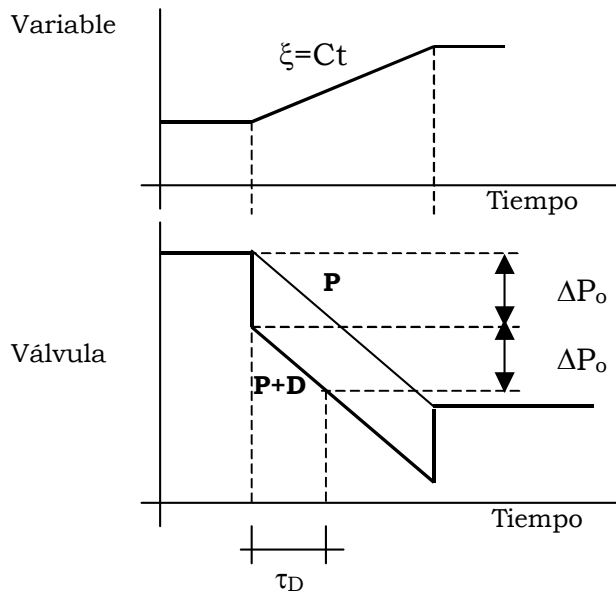
La variación de la señal de salida se hace evidente examinando la figura 7, si a la entrada del controlador se introduce un error constante ξ_o entre la variable y el punto de consigna, la señal de salida P_o salta un determinado valor P_{o1} por la respuesta inmediata de la parte proporcional y a continuación sigue una variación gradual a una velocidad proporcional al error.

Del mismo modo que la acción proporcional se definía por la banda proporcional o la ganancia, la acción integral viene definida por el denominado tiempo de acción integral. Este es el intervalo de tiempo ante una señal de entrada en escalón, la parte de la señal de salida debido a la acción integral iguala a la parte debida a la acción proporcional. El tiempo de acción integral τ_i en minutos equivale a minutos por repetición de la acción proporcional. Se puede expresar la acción integral en repeticiones por minuto, es el número de veces por minuto con que se repite la acción proporcional y que es el recíproco matemático de minutos por repetición.

Control proporcional más derivativo. Cuando existe una regulación derivada es porque hay una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final del control. Es decir, que el movimiento de la válvula es proporcional a la velocidad de cambio de la variable, mientras más rápido cambie más se moverá la válvula.

La variación de la señal de salida se hace evidente examinando la figura 8, si a la entrada del controlador se introduce un error que cambia constantemente en el tiempo, $\xi_o = Ct$, la señal de salida P_o salta un determinado valor P_{o1} por la respuesta inmediata debido a que la derivada de una señal escalón es infinita y a continuación sigue una variación gradual a una velocidad proporcional a la velocidad que cambia el error.

Figura 8. Control proporcional más derivativo



Tiempo de acción
derivada = τ_D
(minuto de anticipo)

Para definir la acción derivada se considera el tiempo, τ_D , como el intervalo en que la parte de variación a causa de la acción proporcional que equivale a la parte de variación de la acción derivativa sólo cuando se aplica al instrumento una entrada en rampa.

Se acostumbra a expresar la acción derivada en minutos de anticipo que representan el tiempo en minutos con que la acción derivada se anticipa al efecto de la acción proporcional en el elemento final de control.

Control proporcional más integral más derivativo. En este tipo de control, la acción correctiva es determinada por tres variables. La magnitud del error, que es la parte proporcional; la integral de tiempo del error o la magnitud del error multiplicada por el tiempo que ha persistido, que es la parte integral y la razón de cambio del error con el tiempo.

Un rápido cambio del error provoca mayor acción correctiva que un cambio de error lento, esta es la parte derivativa. La ecuación correspondiente a un controlador PID electrónico es:

$$V_o = g * \varepsilon + K' \int_0^t \varepsilon dt + K'' \frac{d\varepsilon}{dt}$$

V_o = señal de salida del controlador.

g = ganancia o constante proporcional.

ε = señal de error.

1.4 Controladores digitales

El desarrollo electrónico ha permitido la fabricación de controladores digitales basados en microprocesadores con todas las ventajas, por ejemplo, el ajuste del punto de consigna y las acciones PID sin tener que extraer el instrumento de su base en el panel, al auto ajuste del instrumento para acomodarse a las variaciones de régimen de carga del proceso y el autodiagnóstico del aparato.

Los controladores digitales permiten el ajuste de sus acciones de control ante las perturbaciones periódicas del proceso. Por este motivo pueden trabajar con varios algoritmos de control P+I+D. El algoritmo convencional, donde las

acciones se influyen mutuamente, y que corresponde a los controladores clásicos neumáticos y electrónicos.

$$Vo = K * \left(1 + \frac{1}{TI * p}\right) * \left(\frac{1 + TD * p}{1 + Ta * p}\right) * e$$

p: operador d/dt.

e: error entre la variable y el punto de consigna.

K: ganancia (100/banda proporcional).

TI: tiempo de acción integral en minutos/repetición.

TD: tiempo de acción derivativa en minutos de anticipo.

Ta: constante de tiempo de

El algoritmo de no interacción entre las acciones (llamado también algoritmo ISA) es:

$$Vo = e * \left(K + \frac{1}{TI * p}\right) - \left(\frac{TD * p}{1 + Ta * p}\right) * PV$$

PV: variable de proceso.

El algoritmo llamado industrial es:

$$Vo = K * \left(1 + \frac{1}{TI * p}\right) * \left[PC - \left(\frac{1 + TD * p}{1 + Ta * p}\right) * PV\right]$$

PC: punto de consigna.

En un controlador digital es necesario discretizar los valores de sus acciones, resultando:

$$Vo = k \left\{ e(t_k) + \frac{T_m}{T_i} e(t_k) - e(t_{k-1}) + \frac{T_d}{T_m} [e(t_k) - 2e(t_{k-1}) + e(t_{k-2})] \right\}$$

T_m = período de muestreo, es decir, $T_m = t_k - t_{k-1}$.

$e(t_k)$ = error o diferencia entre la variable y el punto de consigna.

$e(t_{k-1})$ = error un incremento de tiempo de muestreo antes.

$e(t_{k-2})$ = error dos incrementos de tiempo de muestreo antes.

k = ganancia de la acción proporcional.

T_i = min/rep. de la acción integral.

T_d = minutos de la acción derivativa.

1.5 Control por computador

Con el aumento del tamaño de los procesos y el crecimiento de su complejidad, llega a ser necesario un control óptimo para mantener estándares de calidad y de seguridad. Además gracias a la disminución de los costos de equipos computacionales de gran procesamiento se ha llegado a establecer relaciones costo-beneficio más aceptables para la industria, obteniendo beneficios en relación a la eficiencia de producción, mayor calidad, mayor seguridad y la gran cantidad de información con fines administrativos que se pueden conseguir.

La optimización se consigue desarrollando un modelo que refleje exactamente el sistema de balance de energía y de materiales del proceso, realizando el control a través de mediciones y resolviendo el modelo en forma matemática, ya que se obtienen los valores de control sobre las variables del proceso, todo este proceso lo realiza el computador. La eficacia de este sistema depende de la precisión del modelo matemático o del algoritmo de control que se emplee. Este sistema evolucionó en dos etapas: el control digital directo y el control supervisorio.

Control DDC. El computador lleva todos los cálculos que se realizan individualmente con los controladores P+I+D generando directamente las señales que van a los elementos finales de control. Este sistema realiza las siguientes funciones: explora las variables de entrada analógicas o digitales; las compara con los puntos de consigna e introduce la señal de error en el algoritmo de control correspondiente; envía las señales de salida a los elementos finales de control del proceso y puede disponer de instrumentos de respaldo en paralelo con el computador en los puntos críticos y que estos actúan como reserva en caso de fallo.

Las señales procedentes de los transmisores de campo se reúnen en una terminal y pasan a una unidad de filtrado y acondicionamiento. Estas son convertidas a señales digitales, para ser usadas en los cálculos posteriores de control. Estas señales de entrada pueden tener varios orígenes; señales de tensión, provenientes de termopares, reóstatos, tacómetros, pH, conductividad o bien señales de corriente provenientes de transmisores.

Seguidamente se conectan a un multiplexor de forma aleatoria o secuencial, y pasan al computador. El computador permite comprobar cada señal de entrada y compararla entre límites prefijados para detectar si sale fuera de estas magnitudes y determinar a través de la lógica del computador sobre las causas de la desviación iniciando una alarma o bien imprimiendo instrucciones para la operación de la planta.

Por otro lado, el computador dispone de varios algoritmos de control, de los cuales el más típico es el PID cuya fórmula clásica es:

$$\Delta P = K_P \Delta E + K_I \tau E + K_D \frac{\Delta^2 E}{\tau}$$

Donde:

ΔP = valor incremental de salida

τ = intervalo de muestreo

E = error de la muestra

ΔE = variación del error durante el intervalo de muestreo

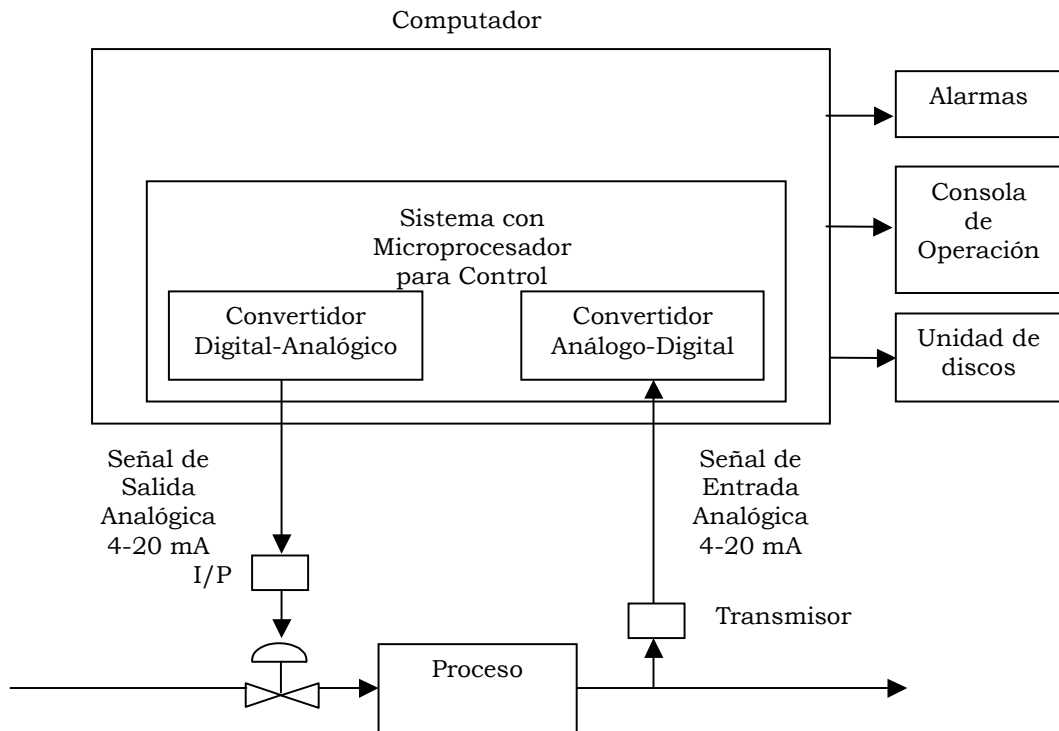
$\Delta^2 E$ = grado de variación del error durante el intervalo de muestreo

K_P = factor de control proporcional

K_I = factor de control integral

K_D = factor de control derivativo

Figura 9. Control DDC



Generalmente estos algoritmos de control son desarrollados por microprocesadores dedicados únicamente a esta labor.

Por otro lado, el sistema DDC compara la señal enviada al elemento final de control con la señal de entrada y determina la aceptación de la información para la acción de control. Si ésta no es aceptable se retiene la última posición del elemento final de control. El operador es prevenido tomando el computador una acción de emergencia. De este modo, los límites de operación del proceso pueden estrecharse con seguridad, de manera que éste puede llevarse a un punto de operación crítico sin problemas.

El DDC permite una transferencia automático manual sin perturbaciones y admite una fácil modificación de las acciones y de las configuraciones de los sistemas de control, lo cual es muy importante en la puesta en marcha de la planta.

El computador propiamente dicho admite tanto la información de entrada como de salida, la cual la puede almacenar en memorias auxiliares como discos duros, para posteriores procesos de reporte, además puede presentarse la información al operador por medio de impresoras, pantallas de rayos catódicos donde se puedan esquematizar los procesos.

2. INTERFASE DEL MUNDO ANALÓGICO CON EL DIGITAL

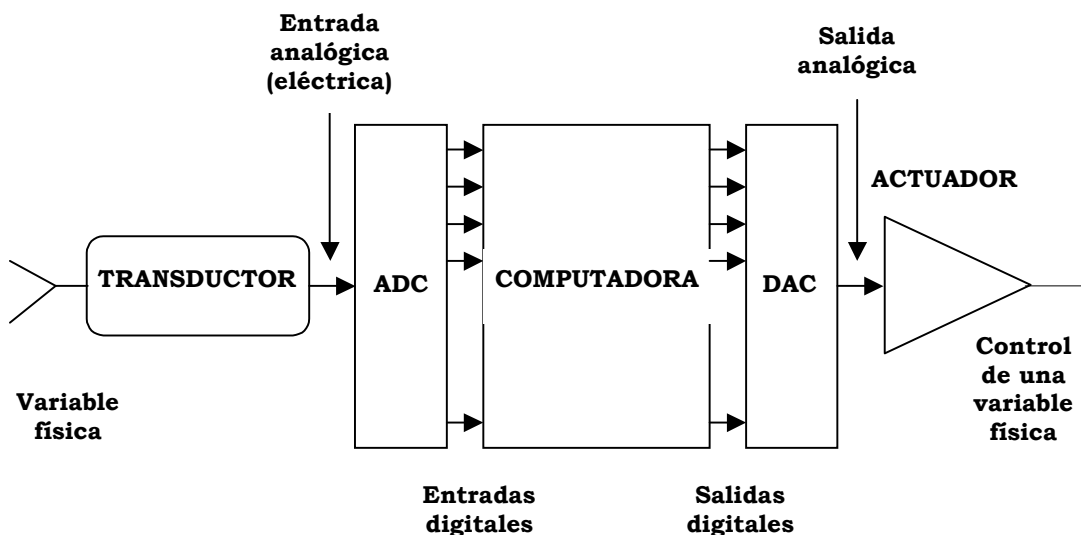
Una cantidad digital tiene un valor que se especifica por una de dos posibilidades, como 0 ó 1, BAJO o ALTO, falso o verdadero, entre otras. En electrónica digital, una característica física como un voltaje, toma un valor que puede ser cualquiera dentro de ciertos rangos específicos; los valores que están dentro de un rango se definen de modo que representen el mismo valor digital. Dando el ejemplo de la tecnología TTL, en la cual se especifican que para un 0 lógico el voltaje varía desde 0 V hasta 0.8 V mientras que para el 1 lógico el voltaje puede variar desde 2 V hasta 5 V, siendo diferentes voltajes para cada tecnología como por ejemplo, la CMOS. Observando los valores anteriores se nota que cualquier voltaje que se encuentre dentro del rango 0 hasta 0.8 V será tomado como 0 lógico y cualquiera que se encuentre desde 2 hasta 5 V, se tomará como un 1 lógico. Los valores exactos no son significativos debido a que los circuitos digitales responden de la misma manera para los voltajes que se encuentren dentro del rango específico.

Una cantidad analógica puede tomar cualquier valor sobre un rango continuo de valores y, lo más importante, su valor exacto si es significativo. Cada posible valor de una cantidad analógica tiene un significado distinto.

La mayor parte de las variables físicas son de naturaleza analógica y por lo tanto, pueden tomar cualquier valor dentro de un rango continuo de estos. Como ejemplos, se puede citar temperatura, presión, intensidad luminosa, velocidad, flujo, etc. Mientras que los sistemas digitales llevan a cabo todas sus operaciones internas mediante circuitos digitales, por lo tanto, cualquier

información que tenga que introducirse en un sistema digital, primero debe ponerse en forma digital. Cuando una computadora se va a utilizar para vigilar y/o controlar un proceso físico, el diseñador se enfrenta con la diferencia entre la naturaleza digital de la computadora y la analógica de las variables del proceso. En la gráfica se observan los elementos que participan cuando una computadora vigila y controla una variable física que es analógica:

Figura 10. Interfases analógicas-digitales



2.1 Transductor

Generalmente la variable física no es eléctrica. Un transductor es un dispositivo que convierte una variable física en eléctrica.

La salida eléctrica de un transductor es una corriente o un voltaje analógico proporcional a la variable física que se está vigilando. En este elemento están

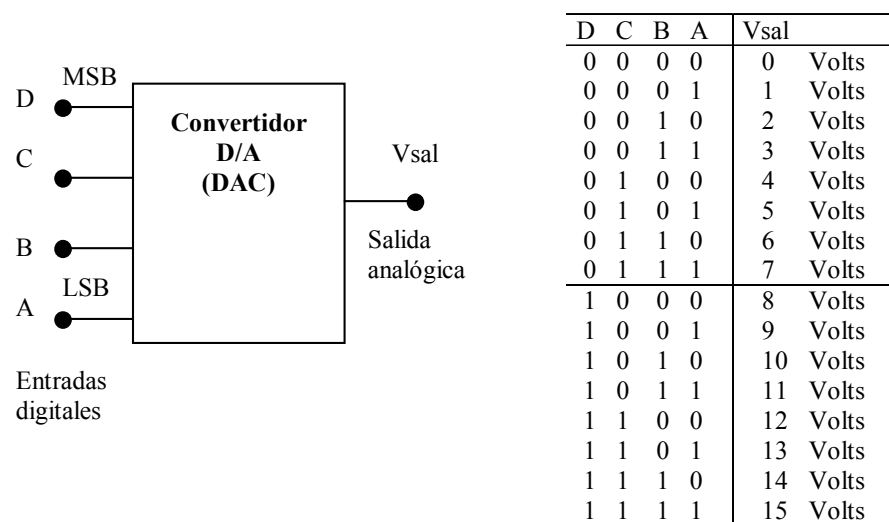
incluidos el sensor y el transmisor de un sistema de control con retroalimentación normal.

2.2 Convertidores digitales-analógicos (DAC)

La salida digital de la computadora se conecta a un DAC, que la convierte a un voltaje o corriente proporcional. La conversión digital-analógica es el proceso de tomar un valor representado en código digital (como binario o BCD) y convertirlo en un voltaje o corriente que sea proporcional al valor digital.

Debido a que algunos convertidores analógicos-digitales utilizan convertidores digitales-analógicos, es la razón por la cual se inicia el estudio con este tipo de convertidores.

Figura 11. Convertidor D/A de 4 bits con salida de voltaje



En la figura 2, se muestra un convertidor D/A de 4 bits como diagrama de bloques, en el cual las entradas digitales D, C, B y A provienen de registros de salida del sistema digital.

Los $2^4 = 16$ diferentes números binarios representan un valor distinto de salida de voltaje donde se observa la proporcionalidad entre la cantidad binaria y la analógica, esta proporcionalidad dependerá de una constante que es característica del DAC, con lo que obtenemos la siguiente ecuación:

$$\textit{salida_analógica} = K \times \textit{entrada_digital} \quad K = \textit{factor de proporcionalidad}$$

La constante de proporcionalidad, K, tiene un valor constante para un DAC dado y tiene también otro significado, la resolución, que se define como la menor variación que puede ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital. Además, la salida si se observa bien no es técnicamente una cantidad analógica debido a que toma valores discretos, pero si se aumenta el número de bits se podrá obtener una salida lo suficientemente continua para ser analógica.

Claro que se tiene que evaluar varios factores para saber que cantidades de bits se utilizarán en una aplicación específica. Esta característica nos lleva a definir la resolución porcentual:

$$\textit{resolución_porcentual} = \frac{1}{2^N - 1} \times 100\% \quad N = \textit{número de bits}$$

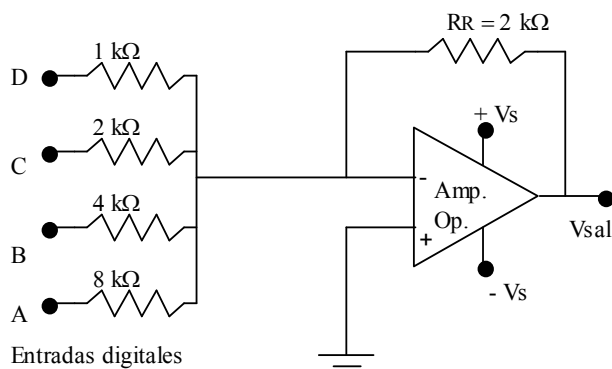
La resolución porcentual nos indica que si se incrementa el número de bits se disminuye el paso entre cada voltaje analógico y, por lo tanto, lo hace más continuo.

Tipos de DAC. Existen varios métodos o circuitos para realizar conversiones digitales analógicas, se examinarán únicamente esquemas

básicos debido a que generalmente se encuentran en circuitos integrados y por lo tanto únicamente se tomarán notas de sus características significativas.

En la siguiente figura se muestra un circuito básico de un DAC de cuatro bits. Siendo las entrada A, B, C y D, binarias que se suponen tienen valores de 0 V o bien 5 V. El amplificador operación está en configuración de sumador, por lo tanto, suma los valores de ponderación de los voltajes de entrada. Si tomamos en cuenta la teoría de los amplificadores operacionales donde un amplificador sumador multiplica cada voltaje de entrada por la proporción del resistor de retroalimentación R_R al resistor de entrada correspondiente R_{ENT} .

Figura 12. DAC con Amplificador Operacional en configuración de sumador con resistores con factores de ponderación binarios



D	C	B	A	Vsal
0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0.625
0	0	1	0	-1.250
0	0	1	1	-1.875
0	1	0	0	-2.500
0	1	0	1	-3.125
0	1	1	0	-3.750
0	1	1	1	-4.375
1	0	0	0	-5.000
1	0	0	1	-5.625
1	0	1	0	-6.250
1	0	1	1	-6.875
1	1	0	0	-7.500
1	1	0	1	-8.125
1	1	1	0	-8.750
1	1	1	1	-9.375

La señal o voltaje de salida esta dado por la ecuación siguiente:

$$V_{SAL} = -\left(V_D + \frac{1}{2}V_C + \frac{1}{4}V_B + \frac{1}{8}V_A \right)$$

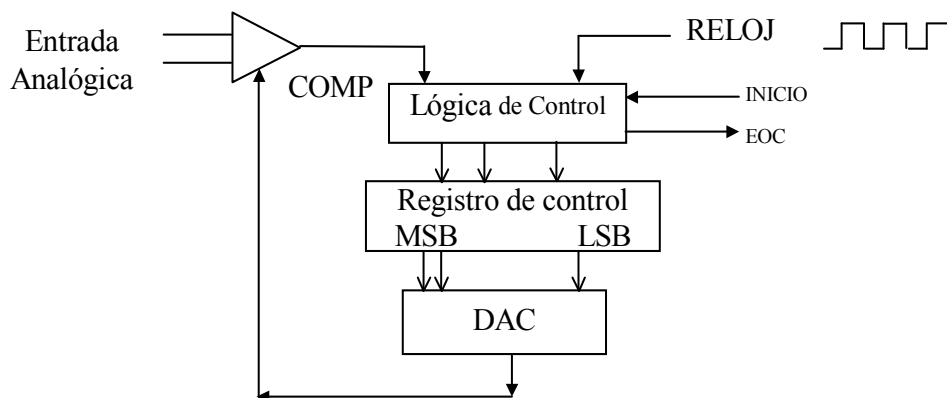
Se observa que los valores de ponderación son binarios.

2.3 Convertidor analógico-digital (ADC)

La salida analógica (eléctrica) del transductor es la entrada al ADC, que convierte esta entrada en una salida digital. Esta última consiste de varios bits que representan el valor de la entrada analógica. La salida binaria del ADC es proporcional al voltaje analógico de entrada.

Existen varios métodos para realizar las conversiones analógicas a digitales pero nos concentraremos en la de aproximaciones sucesivas debido a que es la que se utilizará en el controlador digital además, es uno de los mas utilizados.

Figura 13. ADC de aproximaciones sucesivas



La forma como trabaja un ADC de aproximaciones sucesivas es la siguiente, inicialmente la lógica de control borra todos los bits del registro de control, por lo tanto, el DAC pone en 0 Voltios su salida y si el valor de la entrada analógica es mayor que 0 el comparador se pone en valor ALTO. En el siguiente paso la lógica de control pone el MSB a 1 por lo tanto el DAC da en su salida el valor correspondiente, si este voltaje es más bajo que la entrada analógica el comparador seguirá en valor ALTO por lo tanto le indicará a la lógica de control que el cambio de bit no fue suficiente para igualar o superar la entrada analógica que cambiará a uno el siguiente bit después del MSB con lo cual aumenta el voltaje a la salida del DAC, la lógica de control realizará este procedimiento hasta que logre que la salida del comparador pase a valor BAJO, con lo cual dará una señal de indicación de finalización de la conversión y el valor correspondiente digital es el que se encuentra en el registro de control.

Tiempo de conversión. La operación del ADC por medio de aproximaciones sucesivas la lógica recorre un bit del registro, uno a la vez, y lo pone en 1; decide si lo mantiene o no en 1 y va hacia el siguiente bit. El procesamiento de cada bit requiere de un ciclo de reloj; por lo tanto, el tiempo total de conversión para un ADC de N bits es de N ciclos de reloj. Esto es

$$t_c = N \times 1 \text{ ciclo de reloj}$$

Este tiempo de conversión siempre es el mismo, sin importar cual sea el valor de la señal analógica de entrada.

Debido a que muchos ADC de aproximaciones sucesivas están disponibles en CI, no es necesario el diseño de la circuitería lógica de control.

2.4 Computadora

La representación digital de la variable del proceso se transmite desde el ADC hacia la computadora, que lo almacena y procesa de acuerdo con las instrucciones del programa en ejecución. El programa efectuará cálculos sobre la representación digital de la variable de proceso, para generar una salida digital que eventualmente servirá para controlar el proceso.

2.5 Actuador

A menudo la señal analógica que proviene del DAC esta conectada a algún circuito o dispositivo que sirve como actuador para el control de la variable física, de acuerdo con el voltaje analógico proveniente del DAC. En este elemento esta incluido el convertidor y el elemento final de control.

Por lo tanto, se observa que los ADC y DAC funcionan como interfases entre un sistema digital (la computadora) y el mundo analógico.

3. SISTEMAS DIGITALES CON MICROPROCESADORES

El microprocesador juega un importante rol en el funcionamiento de la sociedad actual. El microprocesador puede ser visto como un dispositivo lógico programable que puede usarse en el control de procesos para encender o apagar dispositivos, de otra manera, el microprocesador puede ser visto como un procesador de datos o la unidad de cómputo de una computadora. Actualmente es utilizado en una gran cantidad de productos llamados productos basados en microprocesadores, siendo posible trabajar en forma aislada o en sistemas en conjunto con varios microprocesadores.

3.1 Microprocesador

Es un dispositivo lógico programable consistente en circuitos electrónicos manufacturados por medio de técnicas de larga escala, entre sus funciones están: a) proporcionar las señales de control y temporización para todos los elementos del sistema con microprocesador, b) extraer las instrucciones y los datos de la memoria, c) transferir los datos a y desde la memoria y los dispositivos de entrada/salida, d) decodificación de instrucciones, e) ejecutar las operaciones aritméticas y lógicas invocadas por las instrucciones f) responder a las señales de control generadas en entrada/salida. El microprocesador contiene toda la circuitería lógica necesaria para llevar a cabo las anteriores funciones, pero, en general, no existe manera de tener acceso a la lógica interna.

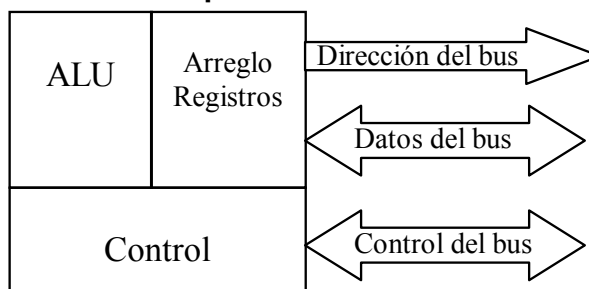
En lugar de ello, se controla el microprocesador mediante un programa formado por varias instrucciones mismo que se coloca en la memoria para que el microprocesador lo ejecute.

Inicialmente fue creado el microprocesador de 4 bits (Intel 4004), el cual fue rápidamente reemplazado por el microprocesador de 8 bits (Intel 8008) y luego este por el Intel 8080. A mediados de los 70s este microprocesador fue ampliamente usado en aplicaciones de control y también en computadoras usándolo como CPU. Luego de algunos años fueron desarrollados el Motorola 68000, el Zilog Z80 y el Intel 8085. El Zilog Z80 tiene compatible el *software* con el 8080 pero con algunas instrucciones agregadas, actualmente se han desarrollado microprocesadores de 16, 32, 64 bits que se han empleado en sistemas de computo para procesamiento matemático y de datos, mientras los microprocesadores de 8 bits se siguen utilizando en dispositivos para aplicaciones de control.

3.2 Arquitectura de los microprocesadores

El microprocesador puede ser dividido en tres partes para la explicación de su funcionamiento: la unidad lógica/aritmética (ALU), el arreglo de registros y la unidad de control.

Figura 14. Estructura del microprocesador



Unidad lógica aritmética (ALU). Esta es la parte del microprocesador que se encarga de realizar las operaciones lógico aritméticas como adición, sustracción, AND, OR y OR exclusivo.

Arreglo de registros. Esta área del microprocesador consiste en varios registros. Estos registros son utilizados para guardar datos temporalmente durante la ejecución del programa. Algunos de estos registros son accesibles a través de instrucciones.

Unidad de control. Esta parte del microprocesador provee las señales de control y de temporización necesarias para las operaciones del microprocesador. Esta controla el flujo de datos entre el microprocesador, la memoria y los periféricos.

Lenguajes de programación. Cada microprocesador tiene sus propias palabras, instrucciones y lenguaje. Una instrucción es definida como una tarea completa, que el microprocesador pueda realizar, por ejemplo, Sumar, para que esta sea reconocida, ya que debe estar escrita en lenguaje binario conocido como lenguaje de máquina, claro que esta manera de programar es sumamente difícil, por lo tanto, los fabricantes de microprocesadores decidieron representar estas instrucciones en lenguaje binario en forma de palabras parecidas al inglés llamadas mnemónicos, a esta forma de lenguaje se le llama lenguaje assembler. Pero, esta forma sigue teniendo el inconveniente, ya que para un microprocesador diferente existe un lenguaje assembler diferente que no puede ser transferido a otro microprocesador, por lo tanto, se crearon lenguajes que fueran independientes de la máquina a programar, ejemplo de estos lenguajes son BASIC, FORTRAN, PASCAL, C, etc. A estos se les llamo lenguajes de alto nivel. La utilización de cada uno de estos tipos de lenguajes depende de la aplicación, por ejemplo, en aplicaciones de control donde los programas son compactos el lenguaje en assembler es bastante práctico, también en

situaciones de tiempo real o de alta frecuencia donde el tiempo de procesamiento debe ser bien controlado se hace necesario este tipo de programación en cambio esto tiene el inconveniente de la depuración de los programas o bien la búsqueda de errores, en estos puntos el lenguaje de alto nivel tiene herramientas que facilitan realizar estas tareas.

3.3 Elementos de un sistema digital con microprocesadores

En un sistema digital con microprocesador se incluyen generalmente cuatro componentes: microprocesador, entrada, salida y memoria, estos componentes son organizados alrededor de una trayectoria común de comunicaciones llamada bus. En este punto hay que hacer la diferencia entre microprocesador y microcomputadora, el microprocesador es uno de los componentes de la microcomputadora mientras que la microcomputadora es un sistema en sí.

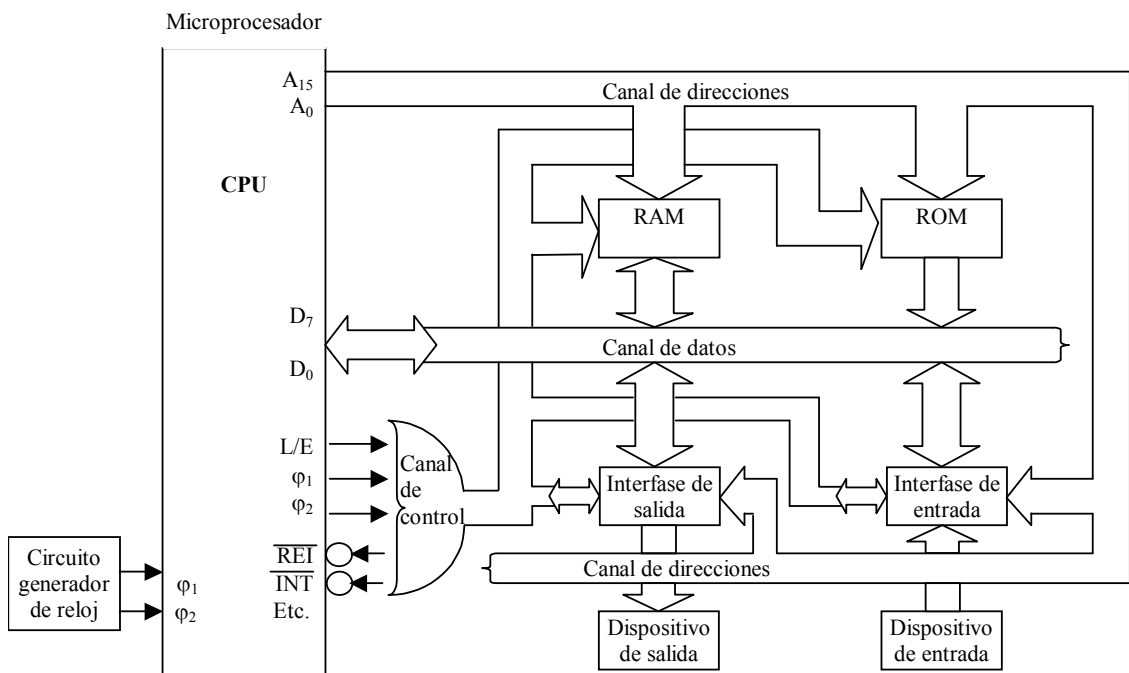
A continuación como ejemplo de un sistema digital con microprocesador se toma el de una computadora personal.

Las muchas estructuras posibles de computadoras son esencialmente iguales en principio, aunque varían en el tamaño de los canales datos y direcciones, y los tipos de señales de control que utilizan. Se presenta en el siguiente diagrama un esquema común de la arquitectura de una computadora personal, con sistema de ocho bits y los diversos canales que los interconectan.

Sistema de canales. Tiene tres canales que transportan toda la información y señales implicadas en la operación del sistema. Estos conectan el microprocesador a cada uno de los elementos de memoria y E/S, de manera

que los datos y la información puedan fluir entre el microprocesador y cualquiera de estos otros elementos.

Figura 15. Estructura de una Computadora



Canal de direcciones

Este es un canal unidireccional, la información solo fluye del microprocesador hacia la memoria o los elementos de E/S. Dependiendo del tamaño del bus de direcciones (8, 16, 32 bits) así serán las posibles direcciones lógicas, por ejemplo, la de 8 bits generará $2^8 = 256$ direcciones posibles, las cuales podrían ser localidades en la ROM o la RAM o una interfase con un dispositivo de entrada o salida.

Canal de datos

Este es un canal bidireccional, ya que la información fluye del y hacia el microprocesador, esto dependerá de la señal de control ya sea de escritura o lectura. Cuando se realiza la operación de escritura las terminales de datos del microprocesador actúan como salidas y colocan los datos en el canal respectivo, que después se envían a la memoria seleccionada o elementos E/S. El tamaño de los datos dependerá del número de bits que pueda manejar el microprocesador (8, 16 o 32 bits).

Canal de control

Es el conjunto de señales que se usa para sincronizar las actividades de los elementos separados del microprocesador, como las señales de escritura o lectura, interrupciones, o bien las señales de reloj.

Puertos de entrada/salida (E/S). Durante la ejecución de un programa, el microprocesador constantemente lee de, o escribe en la memoria. El programa puede solicitar también al microprocesador leer de uno de los dispositivos de entrada o bien escribir en uno de los dispositivos de salida. En la gráfica se muestra solo un elemento de entrada o salida, pero pueden existir cualquier cantidad de elementos, los cuales estarán conectados normalmente a través de un circuito de interfase. La función de la interfase es hacer compatible el microprocesador y el dispositivo de entrada/salida.

Aunque los dispositivos de entrada/salida se tratan como dispositivos de memoria, son diferentes en algunos aspectos, uno de los cuales es la capacidad para interrumpir al microprocesador mientras ejecuta otra tarea, esto se hace con la finalidad de informarle al microprocesador que se desea comunicar con él, ni la RAM ni la ROM poseen recursos de interrupción.

Entre los dispositivos de entrada pueden estar teclados, convertidores analógicos a digitales, etc., mientras que los dispositivos de salida pueden ser diodos, tubos de rayos catódicos, impresoras, otra computadora, etc.

Memoria. La memoria de un sistema con microprocesador se encarga de guardar información binaria como las instrucciones o datos, y provee esta información al microprocesador cuando sea necesario. Para ejecutar programas, el microprocesador lee instrucciones y datos desde la memoria y realiza las operaciones en su Unidad Lógica Aritmética.

Existen varios tipos de memoria pero se expondrán dos grupos: memorias de solo lectura y de escritura/lectura.

Memoria solo lectura (ROM)

Como su nombre lo indica de esta memoria solo pueden extraerse datos y solo se puede escribir en ella por medios especiales o bien desde su misma fabricación. Generalmente en ella se encuentran programas que no serán modificados.

Memoria escritura/lectura

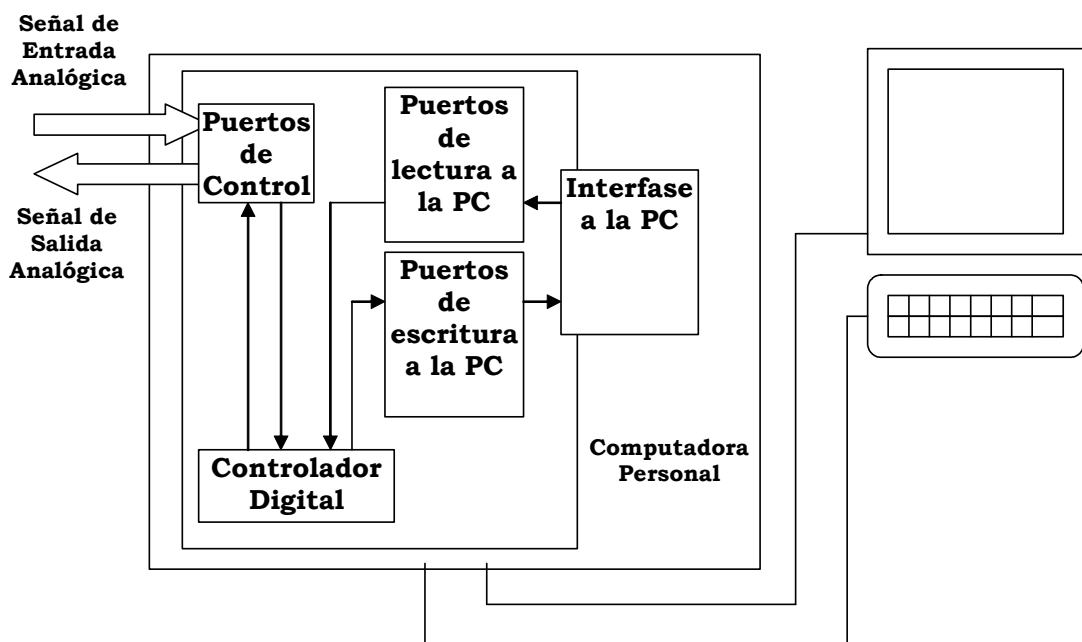
Es utilizada como memoria del usuario, puede leerse o escribirse en ella, pero tiene el inconveniente que generalmente son memorias volátiles, lo cual significa que si se pierde la energía eléctrica se pierden los datos guardados en ella.

4. DISEÑO DEL *HARDWARE* DEL SISTEMA

El *hardware* del sistema de control digital directo consta de los siguientes subsistemas: puertos de control, controlador digital, puertos de lectura y escritura a la PC y la interfase con la PC, todos estos montados sobre una tarjeta de expansión conectada a un slot de un computador personal.

A continuación se muestra un diagrama del sistema:

Figura 16. Diagrama del sistema



4.1 Puertos de control

Los puertos de control son las interfases para la lectura y escritura de señales analógicas normalizadas frente a señales digitales de ocho bits.

Convertidor analógico digital. El convertidor analógico digital transformará la señal analógica de corriente directa con rango de 4 a 20 mA. en una señal digital de ocho bits en forma proporcional, según el tabla adjunta, se toman datos desde 0 a 24 mA. para que el rango de operación quede en una zona segura, guardando además una proporcionalidad entre temperatura y la correspondiente entrada binaria, únicamente con el propósito de ejemplificación:

Tabla I. Proporcionalidad entre temperatura, corriente y voltaje de entrada, y entrada binaria

TEMPERATURA (°C)	CORRIENTE (mA)	VOLTAJE (Voltios)	ENTRADA BINARIA
0	0	0.0000	00000000
11	1	0.2083	00001010
21	2	0.4167	00010101
32	3	0.6250	00011111
43	4	0.8333	00101010
53	5	1.0417	00110101
64	6	1.2500	00111111
74	7	1.4583	01001010
85	8	1.6666	01010101
96	9	1.8750	01011111
106	10	2.0833	01101010
117	11	2.2916	01110100
128	12	2.5000	01111111
138	13	2.7083	10001010
149	14	2.9166	10010100
159	15	3.1250	10011111
170	16	3.3333	10101010
181	17	3.5416	10110100
191	18	3.7499	10111111
202	19	3.9583	11001001
213	20	4.1666	11010100
223	21	4.3749	11011111
234	22	4.5833	11101001
244	23	4.7916	11110100
255	24	4.9999	11111111

El *hardware* estará basado en el circuito integrado ADC 0804, que es un convertidor analógico-digital de 8 bits que realiza las conversiones por medio del método de aproximaciones sucesivas.

Se acondicionará la señal analógica de corriente directa de 0 a 24 mA. de tal forma que a la entrada analógica diferencial, terminal 6 (Vin (+)) y terminal 7 (Vin (-)) tenga un voltaje proporcional de 0 a 5 VDC. Teniendo la terminal 1 (CS) permanentemente en modo bajo, mientras que la terminal 3 (WR) se utiliza para indicarle al convertidor de que muestree la señal analógica de entrada indicando al mismo tiempo el inicio del tiempo de conversión. Luego de terminar la conversión se cambia al estado bajo la señal de la terminal 5 (INTR) para que el microprocesador le envíe las señales de selección de puerto de lectura de señal analógica que se lee en la terminal 2 (RD), con esto se activa la salida de tres estados trasladando los datos digitales hacia el bus de datos. El circuito de reloj se construye utilizando la terminal 19 (CLK OUT) como salida de señal de reloj que se conecta a la terminal 4 (CLK IN) a través de un resistor de 10 kohms y un capacitor de 15 pF, con lo cual se obtiene una frecuencia de 640 kHz.

Convertidor digital analógico. El convertidor digital analógico transformará una señal digital de ocho bits a una señal analógica con rango de 4 a 20 mA en forma proporcional, según el tabla adjunta, en la cual se toman datos desde 0 a 24 mA. para que el rango de operación quede en una zona segura de operación, guardando además una proporcionalidad entre salida binaria y el porcentaje de apertura de la válvula, únicamente con el propósito de ejemplificación. (Véase Tabla II).

El *hardware* estará basado en el integrado DAC 0832 donde se convertirá la señal digital de ocho bits (terminales 4 a 7 y 13 a 16) hacia la salida de corriente de 0-1 mA. (terminales 11 y 12) y esta se acondicionará

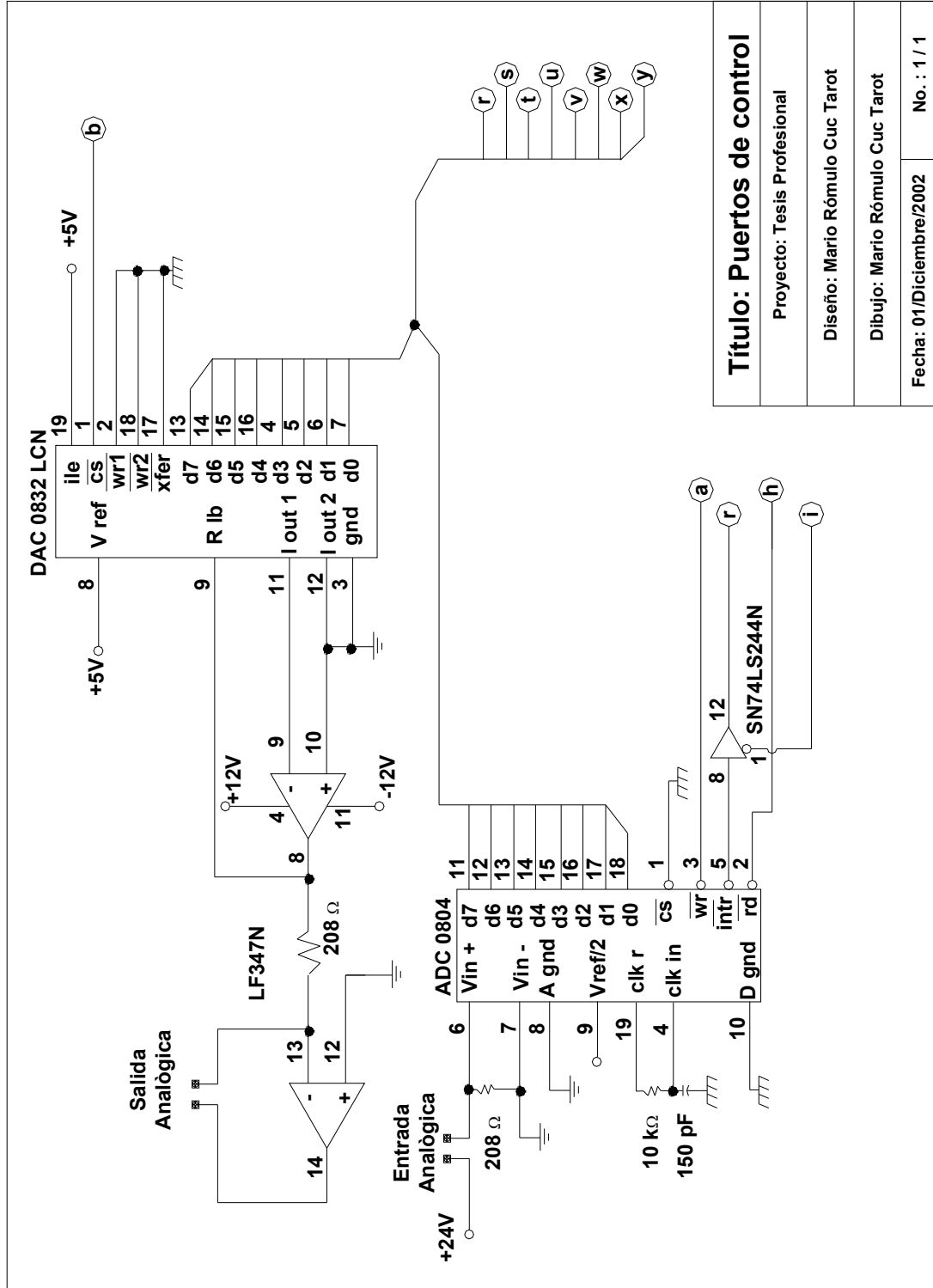
hacia la señal de la corriente analógica de 0-24 mA., teniendo la terminal 1 (Chip Select negada) como selección de escritura de señal analógica.

Tabla II. Proporcionalidad entre salida binaria, voltaje, corriente de salida y porcentaje de apertura de la válvula

SALIDA BINARIA	VOLTAJE (Voltios)	CORRIENTE (mA)	APERTURA (%)
00000000	0.0000	0	XX
00001010	0.2083	1	XX
00010101	0.4167	2	XX
00011111	0.6250	3	XX
00101010	0.8333	4	0
00110101	1.0417	5	6
00111111	1.2500	6	13
01001010	1.4583	7	19
01010101	1.6666	8	25
01011111	1.8750	9	31
01101010	2.0833	10	38
01110100	2.2916	11	44
01111111	2.5000	12	50
10001010	2.7083	13	56
10010100	2.9166	14	63
10011111	3.1250	15	69
10101010	3.3333	16	75
10110100	3.5416	17	81
10111111	3.7499	18	88
11001001	3.9583	19	94
11010100	4.1666	20	100
11011111	4.3749	21	XX
11101001	4.5833	22	XX
11110100	4.7916	23	XX
11111111	4.9999	24	XX

A continuación se muestra el diagrama del hardware utilizado en los puertos de control:

Figura 17. Puertos de control



Título: Puertos de control	
Proyecto: Tesis Profesional	
Diseño: Mario Rómulo Cuc Tarot	
Dibujo: Mario Rómulo Cuc Tarot	
Fecha: 01/Diciembre/2002	No. : 1 / 1

4.2 Controlador digital

El controlador digital esta basado en un microprocesador Z-80, el cual tiene clasificadas sus señales en seis grupos: bus de direcciones, bus de datos, señales de control, señales de peticiones externas, señales de reconocimiento y especiales, y señales de potencia y frecuencia.

Bus de direcciones. Las terminales de la 30 a la 40 y de la 1 a la 5 son conocidas como bus de direcciones, con las cuales se utilizan para enviar las direcciones de registros de memoria o dispositivos de entrada y salida. A continuación se lista las direcciones utilizadas junto con su descripción:

Tabla III. Direcciones utilizadas

DIRECCIÓN HEXADECIMAL	FLUJO DE DATOS	DISPOSITIVO	DESCRIPCIÓN
0000H - 07FEH	Entrada/Salida	Memoria	Programa del controlador
0000H	Salida	ADC	Inicio de conversión
0000H	Entrada	ADC	Lectura de dato digital
0001H	Entrada	ADC	Lectura de fin de conversión
0001H	Salida	DAC	Escritura de señal analógica
0002H	Entrada	Registro	Lectura de temperatura de consigna
0002H	Salida	Registro	Escritura de temperatura de salida
0003H	Salida	Registro	Escritura de apertura de válvula
0003H	Entrada	Registro	Lectura de modo de control
0004H	Entrada	Registro	Lectura de constante proporcional
0005H	Entrada	Registro	Lectura de constante integral
0006H	Entrada	Registro	Lectura de constante derivativa
0007H	Entrada	Registro	Banderas de comunicación
0004H	Salida	Registro	Banderas de comunicación

Bus de datos

Las terminales de la 7 a la 10 y de la 12 a la 15 son llamadas bus de datos y son usadas para transferir datos desde y hacia el microprocesador y

sus dispositivos de memoria o bien de entrada/salida. A continuación se lista los rangos de operación de los dispositivos de entrada y salida.

Tabla IV. Codificación de Datos

DESCRIPCIÓN	RANGO	RANGO
	DECIMAL	BINARIO
Programa	XXXX	XXXX XXXX
Señal analógica de entrada	43 - 213 C	0010 1011 - 1101 0101
Señal analógica de salida	0 - 100 %	0010 1011 - 1101 0101
Temperatura de consigna	43 - 213 C	0010 1011 - 1101 0101
Temperatura de salida	43 - 213 C	0010 1011 - 1101 0101
Apertura de válvula	0 - 100 %	0010 1011 - 1101 0101
Modo de control	On/Off	0000 0001
	Proporcional	0000 0010
	P + I	0000 0100
	P + I + D	0000 1000
Constante Proporcional	0 - 100	0000 0000 - 0110 0100
Constante Integral	0 -15	0000 0000 - 0000 1111
Constante Derivativa	0 - 1	0000 0000 - 0000 0001
Banderas de Comunicación		XXXX XXXX
Banderas de Comunicación		XXXX XXXX

Señales de control. Estas señales indican la naturaleza de la operación que empieza a ser realizada. También están las señales que se utilizan para controlar las operaciones de escritura y lectura, tanto de memoria como los dispositivos de entrada/salida. La terminal 27 es la señal de Ciclo de Máquina núm. Uno, la cual no se utiliza en este diseño, la terminal 19 es la señal de Requerimiento de Memoria que se utiliza junto con la decodificación de direcciones para acceder a la memoria, la terminal 20 es la señal de Requerimiento de Entrada/Salida que se utiliza junto con la decodificación de

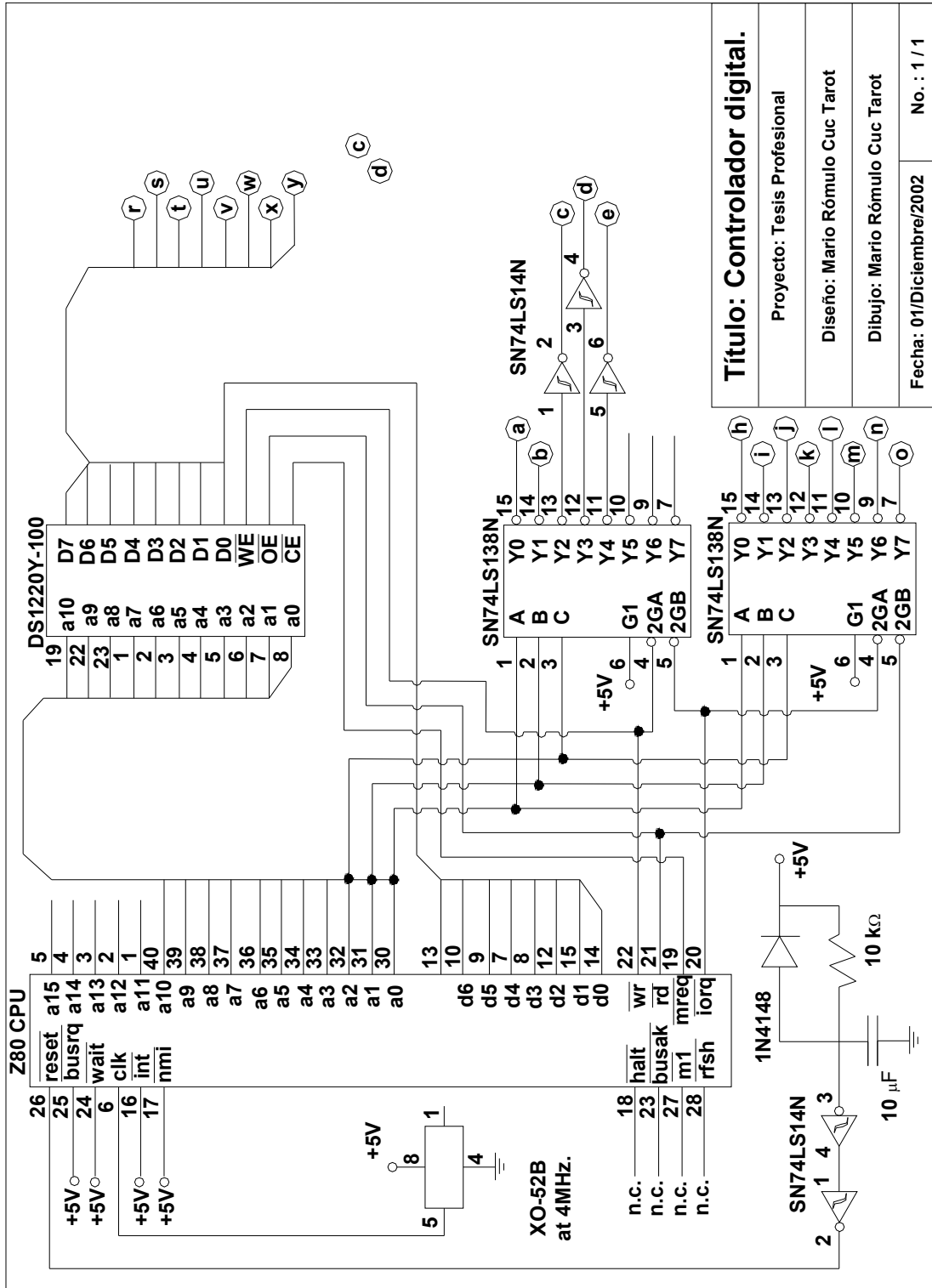
direcciones para acceder a los dispositivos de Entrada/Salida, la terminal 21 es la señal de Lectura que indica que el microprocesador está listo para leer ya sea de memoria o bien un dispositivo de Entrada/Salida y la terminal 22 es la señal de Escritura que indica que el microprocesador colocó un dato en el bus de datos y que está listo para escribirlo ya sea en la memoria o en un dispositivo de Entrada/Salida.

Señales de requerimiento externo. Estas son señales de entrada al microprocesador que lo interrumpen para que realice un proceso en particular, estas señales no se utilizan en este diseño.

Señales de reconocimiento y especiales. Estas señales son en respuesta a peticiones que le indican al dispositivo que lo requirió que su proceso está listo, mientras que la especial se refiere al refresco de memoria. Estas señales no se utilizan en este diseño.

Señales de potencia y frecuencia. Estas señales son la de + 5 VDC y Tierra, junto con la señal del reloj externo.

Figura 18. Controlador digital



Título: Controlador digital.	
Proyecto: Tesis Profesional	
Diseño: Mario Rómulo Cuc Tarot	
Dibujo: Mario Rómulo Cuc Tarot	
Fecha: 01/Diciembre/2002	No. : 1 / 1

4.3 Puertos de lectura y escritura a la PC

Se diseñaron 9 puertos de comunicación con la PC, los cuales son los siguientes:

Tabla V. Puertos con la PC

DIRECCIÓN HEXADECIMAL	FLUJO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
0002H	Entrada	Lectura de temperatura de consigna
0002H	Salida	Escritura de temperatura de salida
0003H	Salida	Escritura de apertura de válvula
0003H	Entrada	Lectura de modo de control
0004H	Entrada	Lectura de constante proporcional
0005H	Entrada	Lectura de constante integral
0006H	Entrada	Lectura de constante derivativa
0007H	Entrada	Banderas de comunicación
0004H	Salida	Banderas de comunicación

El puerto de salida esta manejado por un registro de ocho bits 74LS373, el cual es activado hacia la salida Q negada del *flip-flop* por medio de la señal de escritura y lo mantiene hasta que la PC por medio de su señal de lectura activa la salida, mientras que el puerto de entrada esta manejado por el mismo tipo de registro solo que la señal de lectura activa la salida mientras que la PC activa las salidas Q negadas de los *flip-flops*.

Figura 19. Puertos de lectura

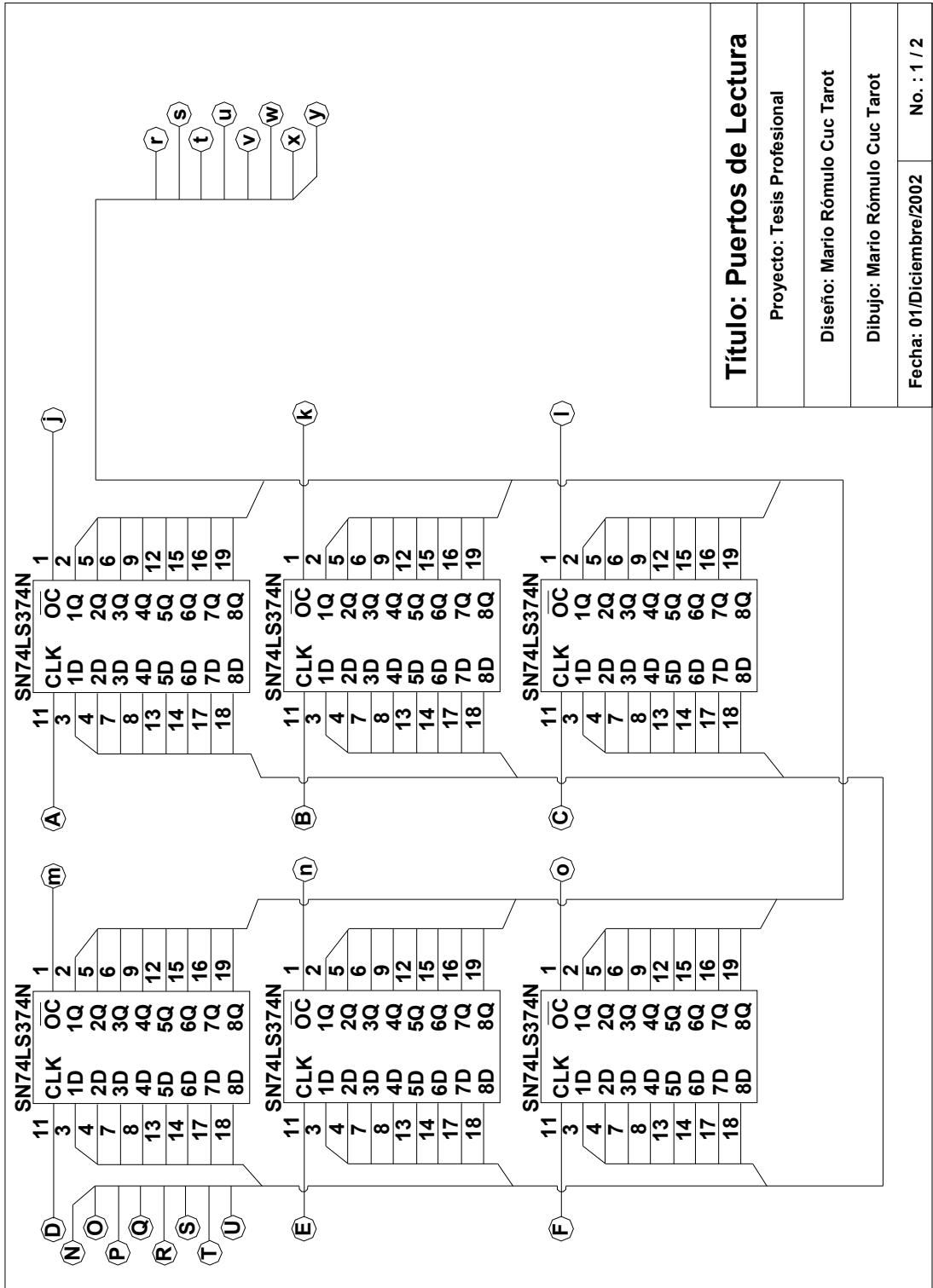
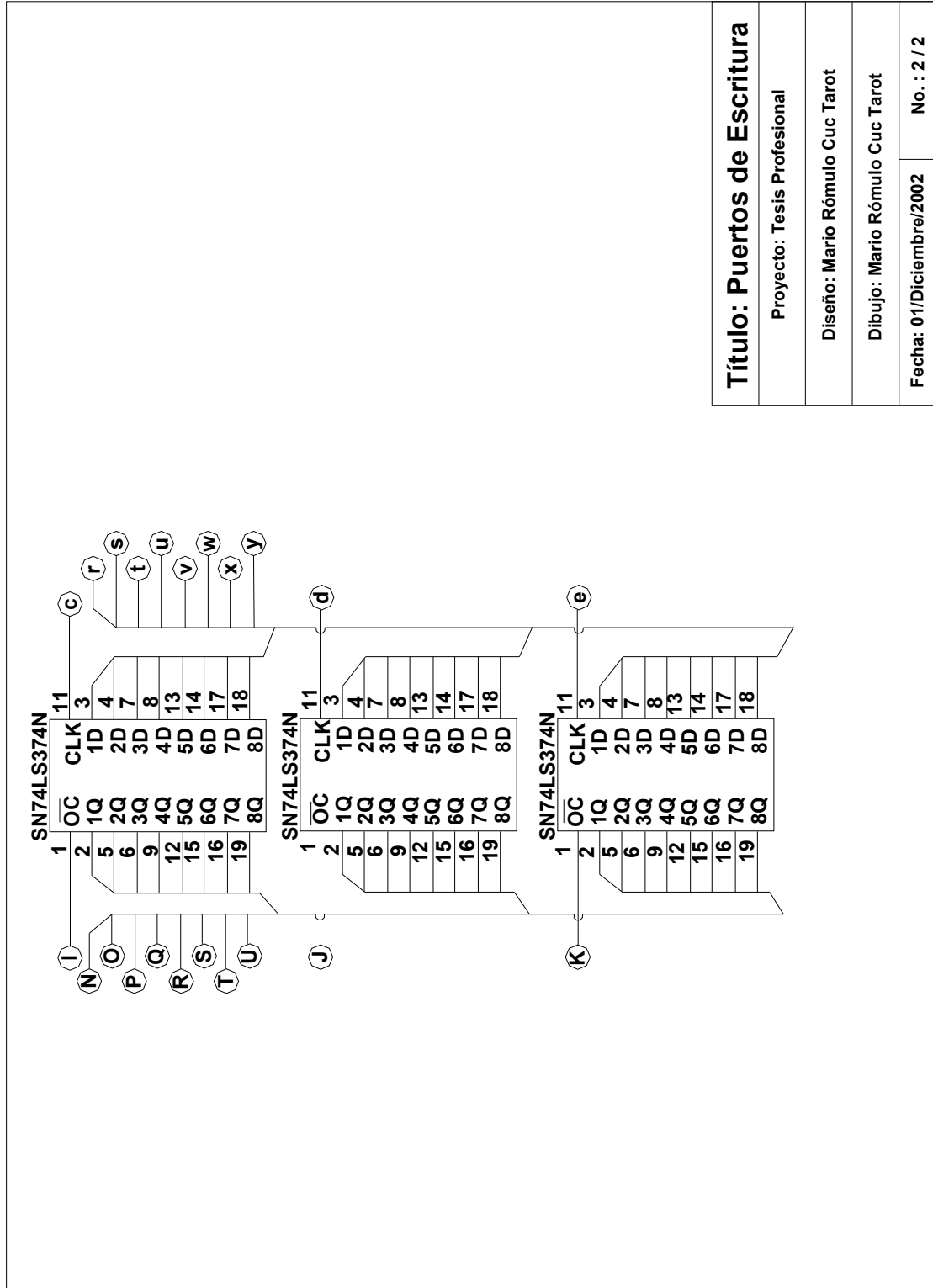


Figura 20. Puertos de escritura



Título: Puertos de Escritura	
Proyecto: Tesis Profesional	
Diseño: Mario Rómulo Cuc Tarot	
Dibujo: Mario Rómulo Cuc Tarot	
Fecha: 01/Diciembre/2002	No. : 2 / 2

4.4 Interfase con la PC

La conexión a la PC se hará a través de un slot bus ISA, del cual se utilizaron las siguientes señales:

Bus de direcciones. De la terminal A12 a la A19 se tienen 20 líneas de dirección para poder direccionar los puertos de comunicación hacia la tarjeta de control, a continuación se detallan las direcciones a utilizar:

Tabla VI. Puertos con el Controlador Digital

DIRECCIÓN HEXADECIMAL	FLUJO DE DATOS	DESCRIPCIÓN
0300H	Salida	Escritura de temperatura de consigna
0300H	Entrada	Lectura de temperatura de salida
0301H	Entrada	Lectura de apertura de válvula
0301H	Salida	Escritura del modo de control
0302H	Salida	Escritura de constante proporcional
0303H	Salida	Escritura de constante integral
0304H	Salida	Escritura de constante derivativa
0305H	Salida	Banderas de comunicación
0302H	Entrada	Banderas de comunicación

Dirección habilitada (AEN)

En la terminal A11 se tiene la señal que se encuentra activada cuando el controlador de Acceso Directo a Memoria tiene control del bus de direcciones o bien se desactiva cuando el microprocesador tiene el control. Por lo tanto, se utiliza para discriminar las direcciones que son dirigidas por el microprocesador.

Bus de datos

Entre las terminales A2 y A9 se encuentra el bus de datos que consta de ocho señales, las cuales estarán codificadas de la siguiente forma:

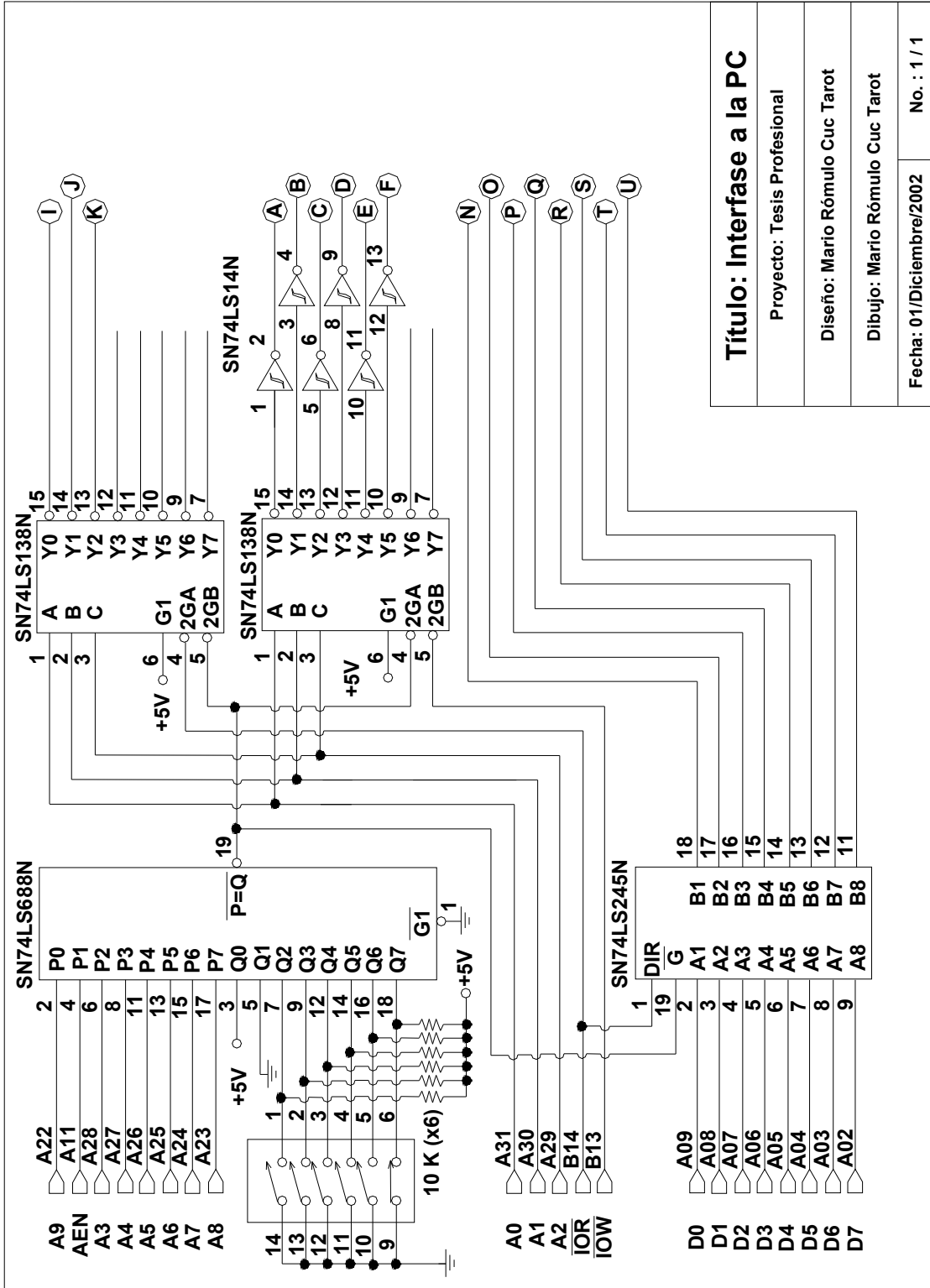
Tabla VII. Codificación de Datos de la PC

DESCRIPCIÓN	RANGO	RANGO
	DECIMAL	BINARIO
Temperatura de consigna	43 - 213 C	0010 1011 - 1101 0101
Temperatura de salida	43 - 213 C	0010 1011 - 1101 0101
Apertura de válvula	0 - 100 %	0010 1011 - 1101 0101
Modo de control	On/Off	0000 0001
	Proporcional	0000 0010
	P + I	0000 0100
	P + I + D	0000 1000
Constante Proporcional	0 - 100	0000 0000 - 0110 0100
Constante Integral	0 -15	0000 0000 - 0000 1111
Constante Derivativa	0 - 1	0000 0000 - 0000 0001
Banderas de Comunicación		XXXX XXXX
Banderas de Comunicación		XXXX XXXX

Lectura de dispositivo entrada/salida (IOR). La terminal B14 indica al puerto, junto con la decodificación de direcciones, que puede poner sus datos en el bus de datos para ser tomados por el microprocesador.

Escritura a dispositivo entrada/salida (IOW). La terminal B13 indica al puerto, junto con la decodificación de direcciones, que lea el dato que se encuentra en el bus de datos.

Figura 21. Interfase a la PC

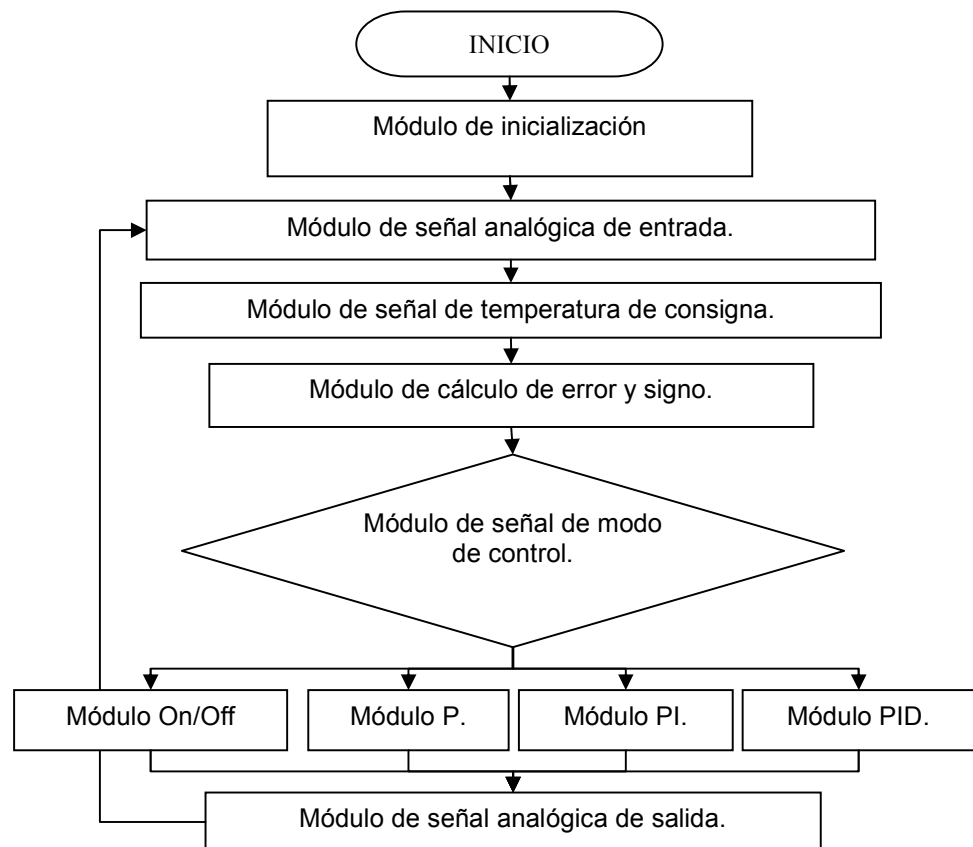


Título: Interfase a la PC
Proyecto: Tesis Profesional
Diseño: Mario Rómulo Cuc Tarot
Dibujo: Mario Rómulo Cuc Tarot
Fecha: 01/Diciembre/2002
No. : 1 / 1

5. DISEÑO DEL PROGRAMA DEL CONTROLADOR

El programa del controlador digital esta realizado en lenguaje assembler propio del microprocesador Zilog Z-80. Se desglosa el programa en los módulos siguientes: módulo de inicialización, módulo de señal analógica de entrada, módulo de temperatura de consigna, módulo de cálculo de error y signo, módulo de señal de modo de control, módulo on/off, módulo proporcional, módulo proporcional + integral, módulo proporcional + integral + derivativo y módulo de señal analógica de salida.

Figura 22. Diagrama de flujo del programa del controlador digital



5.1 MÓDULO DE INICIALIZACIÓN

El módulo de inicialización se encarga de establecer todos los valores de inicio en las localidades de memoria y puertos que serán utilizados.

Variables a utilizar = Valores de inicio

A continuación se presenta una lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0001	0000		; Tiempo de estabilización
0002	0000 00		NOP
0003	0001 00		NOP
0004	0002 00		NOP
0005	0003		; INICIO
0006	0003		; Inicializar la salida analógica
0007	0003 3E 2B		LD A, 2BH
0008	0005 D3 02		OUT (02H), A
0009	0007 32 01 07		LD (0701H), A
0010	000A D3 04		OUT (04H), A
0011	000C		; Inicializar la entrada analógica
0012	000C 32 00 07		LD (0700H), A
0013	000F D3 03		OUT (03H), A
0014	0011		; Inicializar la temperatura de consigna
0015	0011 32 02 07		LD (0702H), A
0016	0014		; Inicializar el modo de control
0017	0014 3E 04		LD A, 04H
0018	0016 32 03 07		LD (0703H), A
0019	0019		; Inicializar la constante proporcional
0020	0019 3E 13		LD A, 13H
0021	001B 32 04 07		LD (0704H), A
0022	001E		; Inicializar la constante integral

0023	001E 3E 05	LD A, 05H
0024	0020 32 05 07	LD (0705H), A
0025	0023	; Inicializar la constante derivativa
0026	0023 3E 00	LD A, 00H
0027	0025 32 06 07	LD (0706H), A
0028	0028	; Inicializar las banderas de lectura
0029	0028 3E 00	LD A, 00H
0030	002A 32 07 07	LD (0707H), A
0031	002D	; Inicializar las banderas de escritura
0032	002D 3E FF	LD A, 0FFH
0033	002F 32 08 07	LD (0708H), A
0034	0032 D3 05	OUT (05H), A
0035	0034	; Inicializar el error acumulado
0036	0034 3E 00	LD A, 00H
0037	0036 32 55 07	LD (0755H), A
0038	0039 32 56 07	LD (0756H), A
0039	003C 32 57 07	LD (0757H), A
0040	003F 32 58 07	LD (0758H), A
0041	0042	; Inicializar el error anterior
0042	0042 3E 50	LD A, 50H
0043	0044 32 61 07	LD (0761H), A
0044	0047 3E 00	LD A, 00H
0045	0049 32 62 07	LD (0762H), A

5.2 MÓDULO DE SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA

El módulo de señal analógica de entrada se encarga de realizar la carga del dato digital correspondiente a la lectura analógica de entrada o sea la temperatura medida, utilizando la dirección del puerto previamente establecida, además, se establecen rutinas de verificación de operación del convertidor

analógico digital, seguridad de dato dentro de rango de operación y comunicación hacia el software de visualización en caso de alarmas.

Temperatura medida = Señal analógica de entrada

A continuación se presenta una lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0046	004C	;	
0047	004C	;	LEER SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA
0048	004C	;	Leer puerto de entrada
0049	004C 3E FF	ANAIN:	LD A, 0FFH
0050	004E 06 FF		LD B, 0FFH
0051	0050 D3 01		OUT (01H), A
0052	0052 05	CICLO:	DEC B
0053	0053 CA 6C 00	JP Z,	TIEMPO
0054	0056 DB 02		IN A, (02H)
0055	0058 CB 47		BIT 0,A
0056	005A C2 52 00	JP NZ,	CICLO
0057	005D 3A 08 07		LD A, (0708H)
0058	0060 CB D7		SET 2, A
0059	0062 D3 05		OUT (05H), A
0060	0064 32 08 07		LD (0708H), A
0061	0067 DB 01		IN A, (01H)
0062	0069 C3 79 00		JP RANGO
0063	006C 3A 08 07	TIEMPO:	LD A, (0708H)
0064	006F CB 97		RES 2, A
0065	0071 D3 05		OUT (05H), A
0066	0073 32 08 07		LD (0708H), A
0067	0076 C3 4C 00		JP ANAIN
0068	0079	;	Verificar si esta en rango
0069	0079 FE 2B	RANGO:	CP 2BH

0070	007B DA 98 00	JP C, FUERA
0071	007E 47	LD B, A
0072	007F 3E D5	LD A, 0D5H
0073	0081 B8	CP B
0074	0082 DA 98 00	JP C, FUERA
0075	0085 78	LD A, B
0076	0086 32 00 07	LD (0700H), A
0077	0089 D3 03	OUT (03H), A
0078	008B 3A 08 07	LD A, (0708H)
0079	008E CB CF	SET 1, A
0080	0090 D3 05	OUT (05H), A
0081	0092 32 08 07	LD (0708H), A
0082	0095 C3 AE 00	JP CONSIG
0083	0098 3A 08 07	FUERA: LD A, (0708H)
0084	009B CB 8F	RES 1, A
0085	009D D3 05	OUT (05H), A
0086	009F 32 08 07	LD (0708H), A
0087	00A2 3E 2B	LD A, 2BH
0088	00A4 D3 02	OUT (02H), A
0089	00A6 32 01 07	LD (0701H), A
0090	00A9 D3 04	OUT (04), A
0091	00AB C3 4C 00	JP ANAIN

5.3 MÓDULO DE SEÑAL DE TEMPERATURA DE CONSIGNA

El módulo de señal de temperatura de consigna, se encarga de leer y cargar en memoria el dato correspondiente a la temperatura de consigna proveniente de usuario vía el software de visualización, estableciéndose además rutinas de verificación de comunicación con el software de

visualización, si el dato obtenido se encuentra dentro del rango de operación, además de comunicación de alarmas.

Temperatura de Consigna = Temperatura de Consigna (Usuario)

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0092	00AE	;	
0093	00AE	;	LEER TEMPERATURA DE CONSIGNA
0094	00AE	;	Leer bandera de entrada
0095	00AE DB 08		CONSIG: IN A, (08H)
0096	00B0 32 07 07		LD (0707H), A
0097	00B3 FE FF		CP 0FFH
0098	00B5 CA BB 00		JP Z, SICOM
0099	00B8 C3 E4 00		JP ERROR
0100	00BB	;	Leer señal de consigna
0101	00BB DB 03		SICOM: IN A, (03H)
0102	00BD	;	Verificar si esta en rango
0103	00BD FE 2B		CP 2BH
0104	00BF DA DA 00		JP C, FUERA1
0105	00C2 47		LD B, A
0106	00C3 3E D5		LD A, 0D5H
0107	00C5 B8		CP B
0108	00C6 DA DA 00		JP C, FUERA1
0109	00C9 78		LD A, B
0110	00CA 32 02 07		LD (0702H), A
0111	00CD 3A 08 07		LD A, (0708H)
0112	00D0 CB DF		SET 3, A
0113	00D2 32 08 07		LD (0708H), A
0114	00D5 D3 05		OUT (05H), A

```

0115 00D7 C3 E4 00    JP ERROR
0116 00DA 3A 08 07    FUERA1:    LD A, (0708H)
0117 00DD CB 9F        RES 3, A
0118 00DF D3 05        OUT (05H), A
0119 00E1 32 08 07    LD (0708H), A

```

5.4 MÓDULO DE CÁLCULO DE ERROR Y SIGNO

El módulo de cálculo de error y signo se encarga de realizar la diferencia entre la señal analógica de entrada o temperatura medida y la señal de consigna, obteniéndose así el error de control adjunto a su signo para posteriores operaciones de cálculo.

Error = Temperatura de Consigna – Temperatura Medida

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

```

0120 00E4            ;
0121 00E4            ; CALCULO DE ERROR Y SIGNO
0122 00E4            ; Resta
0123 00E4 3A 00 07    ERROR: LD A, (0700H)
0124 00E7 47          LD B, A
0125 00E8 3A 02 07    LD A, (0702H)
0126 00EB 90          SUB B
0127 00EC DA FA 00    JP C, NEGA
0128 00EF 32 50 07    LD (0750H), A
0129 00F2 3E 00        LD A, 00H
0130 00F4 32 51 07    LD (0751H), A
0131 00F7 C3 04 01    JP CONTR
0132 00FA ED 44        NEGA:    NEG
0133 00FC 32 50 07    LD (0750H), A
0134 00FF 3E 01        LD A, 01H

```

0135 0101 32 51 07 LD (0751H), A

5.5 MÓDULO DE SEÑAL DE MODO DE CONTROL

El módulo de señal de modo de control se encarga de realizar la lectura del modo de control a utilizar provista por el usuario, con ese dato se toma la ruta establecida pudiendo ser: Modo On/Off, modo proporcional, modo proporcional + integral o modo proporcional + Integral + Diferencial. Se tienen también rutinas de verificación de comunicación hacia el software de visualización, de verificación de operación en rangos de operación.

	Modo On/Off
Elección del	Modo proporcional
Modo de Control	Modo proporcional + Integral
	Modo Proporcional + Integral + Derivativo

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0136 0104 ;
0137 0104 ; LEER MODO DE CONTROL
0138 0104 ; Leer bandera de entrada
0139 0104 DB 08 CONTR: IN A, (08H)
0140 0106 32 07 07 LD (0707H), A
0141 0109 FE FF CP 0FFH
0142 010B CA 11 01 JP Z, SICOM1
0143 010E C3 41 01 JP ELEC
0144 0111 ; Leer señal de control
0145 0111 DB 04 SICOM1: IN A, (04H)
0146 0113 ; Verificar si esta en rango
0147 0113 FE 01 CP 01H
0148 0115 CA 34 01 JP Z, BIEN
0149 0118 FE 02 CP 02H

0150	011A CA 34 01	JP Z, BIEN
0151	011D FE 04	CP 04H
0152	011F CA 34 01	JP Z, BIEN
0153	0122 FE 08	CP 08H
0154	0124 CA 34 01	JP Z, BIEN
0155	0127 3A 08 07	LD A, (0708H)
0156	012A CB A7	RES 4, A
0157	012C D3 05	OUT (05H), A
0158	012E 32 08 07	LD (0708H), A
0159	0131 C3 41 01	JP ELEC
0160	0134 32 03 07	BIEN: LD (0703H), A
0161	0137 3A 08 07	LD A, (0708H)
0162	013A CB E7	SET 4, A
0163	013C 32 08 07	LD (0708H), A
0164	013F D3 05	OUT (05H), A
0165	0141	; Elección del modo de control
0166	0141 3A 03 07	ELEC: LD A, (0703H)
0167	0144 FE 01	CP 01H
0168	0146 CA 5B 01	JP Z, ONOFF
0169	0149 FE 02	CP 02H
0170	014B CA 7B 01	JP Z, P
0171	014E FE 04	CP 04H
0172	0150 CA 7B 01	JP Z, P
0173	0153 FE 08	CP 08H
0174	0155 CA 7B 01	JP Z, P
0175	0158 C3 04 01	JP CONTR

5.6 MÓDULO DE MODO ON/OFF

El módulo de modo on/off es operado si en el módulo de señal de modo de control se estableció esta forma de control. Tomándose como base de operación el signo obtenido como resultado de la operación de calculo de error. Si el signo es negativo (temperatura medida mayor que la temperatura de consigna) se manda el menor valor hacia la señal analógica de salida o sea se manda a cerrar completamente la válvula, si por el contrario el signo es positivo (temperatura de consigna mayor que la temperatura medida) se manda el máximo valor hacia la señal analógica de salida o sea se manda a abrir totalmente la válvula.

Temperatura Medida < Temperatura Consigna (Signo Positivo)

Señal Analógica de Salida = Valor Máximo

Apertura de la Válvula = Totalmente Abierta

Temperatura Medida > Temperatura Consigna (Signo Negativo)

Señal Analógica de Salida = Valor Mínimo

Apertura de la Válvula = Totalmente Cerrada

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0176	015B	;	
0177	015B	;	MODO ON OFF
0178	015B	;	Leer signo
0179	015B 3A 51 07		ONOFF: LD A, (0751H)
0180	015E FE 00		CP 00H
0181	0160 CA 6F 01		JP Z, POS
0182	0163	;	Si es negativo
0183	0163 3E 2B		LD A, 2BH
0184	0165 D3 02		OUT (02H), A
0185	0167 32 01 07		LD (0701H), A

```

0186 016A D3 04      OUT (04H), A
0187 016C C3 4C 00   JP ANAIN
0188 016F           ; Si es positivo
0189 016F 3E D5     POS:   LD A, 0D5H
0190 0171 D3 02      OUT (02H), A
0191 0173 32 01 07   LD (0701H), A
0192 0176 D3 04      OUT (04H), A
0193 0178 C3 4C 00   JP ANAIN

```

5.7 MÓDULO DE MODO PROPORCIONAL

El módulo de modo proporcional es operado si en el módulo de señal de modo de control se estableció esta forma de control. Las operaciones se basan en la multiplicación del error obtenido por la constante proporcional, la cual es obtenida por medio de la comunicación hacia el software de visualización. Estableciéndose las rutinas de verificación de comunicación, valores obtenidos en rango de operación. El resultado de la operación proporcional es traslado posteriormente hacia el módulo de señal analógica de salida.

Operación Proporcional = Constante Proporcional x Error

$$P = K_P E$$

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

```

0194 017B           ;
0195 017B           ; MODO PROPORCIONAL
0196 017B           ; Leer bandera de entrada
0197 017B DB 08     P: IN A, (08H)
0198 017D 32 07 07   LD (0707H), A
0199 0180 FE FF      CP 0FFH
0200 0182 CA 88 01   JP Z, SICOM2
0201 0185 C3 AC 01   JP OPERA

```

0202 0188 ; Leer constante proporcional
0203 0188 DB 05 SICOM2: IN A, (05H)
0204 018A ; Verificar si esta en rango
0205 018A 47 LD B, A
0206 018B 3E 64 LD A, 064H
0207 018D B8 CP B
0208 018E DA A2 01 JP C, FUERA2
0209 0191 78 LD A, B
0210 0192 32 04 07 LD (0704H), A
0211 0195 3A 08 07 LD A, (0708H)
0212 0198 CB EF SET 5, A
0213 019A D3 05 OUT (05H), A
0214 019C 32 08 07 LD (0708H), A
0215 019F C3 AC 01 JP OPERA
0216 01A2 3A 08 07 FUERA2: LD A, (0708H)
0217 01A5 CB AF RES 5, A
0218 01A7 D3 05 OUT (05H), A
0219 01A9 32 08 07 LD (0708H), A
0220 01AC ; Operación proporcional
0221 01AC 3A 50 07 OPERA: LD A, (0750H)
0222 01AF 5F LD E, A
0223 01B0 3A 04 07 LD A, (0704H)
0224 01B3 21 00 00 LD HL, 0000H
0225 01B6 16 00 LD D, 00H
0226 01B8 06 08 LD B, 08H
0227 01BA 1F OBIT: RRA
0228 01BB D2 BF 01 JP NC, NOSUM
0229 01BE 19 ADD HL, DE
0230 01BF EB NOSUM: EX DE, HL

0231	01C0 29	ADD HL, HL
0232	01C1 EB	EX DE, HL
0233	01C2 05	DEC B
0234	01C3 C2 BA 01	JP NZ, OBIT
0235	01C6 7C	LD A, H
0236	01C7 32 52 07	LD (0752H), A
0237	01CA 7D	LD A, L
0238	01CB 32 53 07	LD (0753H), A
0239	01CE 3A 51 07	LD A, (0751H)
0240	01D1 32 54 07	LD (0754H), A
0241	01D4	; Elección de seguir a l
0242	01D4 3A 03 07	LD A, (0703H)
0243	01D7 FE 02	CP 02H
0244	01D9 CA D6 05	JP Z, ANAOUT

5.8 MÓDULO DE MODO PROPORCIONAL + INTEGRAL

El módulo de modo proporcional + integral es operado si en el módulo de señal de modo de control se estableció esta forma de control. Las operaciones se basan inicialmente en obtener el resultado de la operación proporcional proporcionada por su correspondiente módulo, luego se realiza el calculo del error acumulado para posteriormente multiplicar por el tiempo de muestreo, el cual se toma como ($1/400_H = 1/1024_D = 0.97 \text{ ms.}$); luego se multiplica por la constante integral, la cual es obtenida por medio de la comunicación hacia el software de visualización. Estableciéndose las rutinas de verificación de comunicación, valores obtenidos en rango de operación. El resultado de la operación integral es sumado algebraicamente con el resultado de la operación proporcional para su traslado hacia el módulo de señal analógica de salida.

$$\begin{array}{l} \text{Operación} \\ \text{Proporcional +} \\ \text{Integral} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Operación Proporcional +} \\ \text{Constante Integral} \times \text{Error Acumulado} \\ \times \text{Tiempo Muestreo (} 1/400_H \end{array}$$

$$P + I = K_P E + K_I \tau \sum E$$

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0245	01DC	;	
0246	01DC	;	MODO INTEGRAL
0247	01DC	;	Leer bandera de entrada
0248	01DC DB 08		IN A, (08H)
0249	01DE 32 07 07		LD (0707H), A
0250	01E1 FE FF		CP 0FFH
0251	01E3 CA E9 01		JP Z, SICOM3
0252	01E6 C3 0D 02		JP OPERA1
0253	01E9	;	Leer constante integral
0254	01E9 DB 06		SICOM3: IN A, (06H)
0255	01EB	;	Verificar si esta en rango
0256	01EB 47		LD B, A
0257	01EC 3E 0F		LD A, 0FH
0258	01EE B8		CP B
0259	01EF DA 03 02		JP C, FUERA3
0260	01F2 78		LD A, B
0261	01F3 32 05 07		LD (0705H), A
0262	01F6 3A 08 07		LD A, (0708H)
0263	01F9 CB F7		SET 6, A
0264	01FB D3 05		OUT (05H), A
0265	01FD 32 08 07		LD (0708H), A
0266	0200 C3 0D 02		JP OPERA1
0267	0203 3A 08 07		FUERA3:LD A, (0708H)
0268	0206 CB B7		RES 6, A
0269	0208 D3 05		OUT (05H), A

0270 020A 32 08 07 LD (0708H), A
 0271 020D ; Operación integral
 0272 020D ; Cálculo de error acumulado
 0273 020D ; Verificación de signos
 0274 020D 3A 58 07 OPERA1: LD A, (0758H)
 0275 0210 FE 00 CP 00H
 0276 0212 CA 20 02 JP Z, POS1
 0277 0215 3A 51 07 LD A, (0751H)
 0278 0218 FE 00 CP 00H
 0279 021A CA 58 02 JP Z, N1P2
 0280 021D C3 93 02 JP N1N2
 0281 0220 3A 51 07 POS1: LD A, (0751H)
 0282 0223 FE 00 CP 00H
 0283 0225 CA 2B 02 JP Z, P1P2
 0284 0228 C3 44 02 JP P1N2
 0285 022B ; Acumulado y actual positivos
 0286 022B 3A 50 07 P1P2: LD A, (0750H)
 0287 022E 32 82 07 LD (0782H), A
 0288 0231 21 57 07 LD HL, 0757H
 0289 0234 11 82 07 LD DE, 0782H
 0290 0237 06 03 LD B, 03H
 0291 0239 CD AC 02 CALL SUM24B
 0292 023C 3E 00 LD A, 00H
 0293 023E 32 58 07 LD (0758H), A
 0294 0241 C3 0D 03 JP DIV
 0295 0244 ; Acumulado positivo, actual negativo
 0296 0244 3A 50 07 P1N2: LD A, (0750H)
 0297 0247 32 82 07 LD (0782H), A
 0298 024A 21 57 07 LD HL, 0757H

0299	024D 11 82 07	LD DE, 0782H
0300	0250 06 02	LD B, 02H
0301	0252 CD C0 02	CALL RES24B
0302	0255 C3 0D 03	JP DIV
0303	0258	; Acumulado negativo, actual positivo
0304	0258 3A 50 07	N1P2: LD A, (0750H)
0305	025B 32 82 07	LD (0782H), A
0306	025E 2A 55 07	LD HL, (0755H)
0307	0261 ED 5B 80 07	LD DE, (0780H)
0308	0265 EB	EX DE, HL
0309	0266 22 55 07	LD (0755H), HL
0310	0269 ED 53 80 07	LD (0780H), DE
0311	026D 3A 57 07	LD A, (0757H)
0312	0270 47	LD B, A
0313	0271 3A 82 07	LD A, (0782H)
0314	0274 4F	LD C, A
0315	0275 78	LD A, B
0316	0276 32 82 07	LD (0782H), A
0317	0279 79	LD A, C
0318	027A 32 57 07	LD (0757H), A
0319	027D 21 57 07	LD HL, 0757H
0320	0280 11 82 07	LD DE, 0782H
0321	0283 06 02	LD B, 02H
0322	0285 CD C0 02	CALL RES24B
0323	0288 3E 00	LD A, 00H
0324	028A 32 80 07	LD (0780H), A
0325	028D 32 81 07	LD (0781H), A
0326	0290 C3 0D 03	JP DIV
0327	0293	; Acumulado y actual negativos

```

0328 0293 3A 50 07  N1N2:  LD A, (0750H)
0329 0296 32 82 07      LD (0782H), A
0330 0299 21 57 07      LD HL, 0757H
0331 029C 11 82 07      LD DE, 0782H
0332 029F 06 03      LD B, 03H
0333 02A1 CD AC 02      CALL SUM24B
0334 02A4 3E 01      LD A, 01H
0335 02A6 32 58 07      LD (0758H), A
0336 02A9 C3 0D 03      JP DIV
0337 02AC          ; Subrutina de suma de 24 bits
0338 02AC AF      SUM24B: XOR A
0339 02AD 1A      OTRO:  LD A, (DE)
0340 02AE 8E      ADC A, (HL)
0341 02AF 77      LD (HL), A
0342 02B0 2B      DEC HL
0343 02B1 1B      DEC DE
0344 02B2 05      DEC B
0345 02B3 C2 AD 02  JP NZ, OTRO
0346 02B6 FE 12      CP 12H
0347 02B8 D2 BC 02  JP NC, RESTR
0348 02BB C9      RET
0349 02BC 23      RESTR:  INC HL
0350 02BD 36 11      LD (HL), 11H
0351 02BF C9      RET
0352 02C0          ; Subrutina de resta de 24 bits
0353 02C0 AF      RES24B: XOR A
0354 02C1 1A      OTRO1:  LD A, (DE)
0355 02C2 4F      LD C, A
0356 02C3 7E      LD A, (HL)

```

0357	02C4 99	SBC A, C
0358	02C5 77	LD (HL), A
0359	02C6 2B	DEC HL
0360	02C7 1B	DEC DE
0361	02C8 05	DEC B
0362	02C9 C2 C1 02	JP NZ, OTRO1
0363	02CC 1A	LD A, (DE)
0364	02CD 4F	LD C, A
0365	02CE 7E	LD A, (HL)
0366	02CF 99	SBC A, C
0367	02D0 77	LD (HL), A
0368	02D1 DA DF 02	JP C, NEGA1
0369	02D4 FE 12	CP 12H
0370	02D6 D2 05 03	JP NC, RESTR1
0371	02D9 3E 00	LD A, 00H
0372	02DB 32 58 07	LD (0758H), A
0373	02DE C9	RET
0374	02DF 3E 01	NEGA1: LD A, 01H
0375	02E1 32 58 07	LD (0758H), A
0376	02E4 06 03	LD B, 03H
0377	02E6 7E	COMPL: LD A, (HL)
0378	02E7 2F	CPL
0379	02E8 77	LD (HL), A
0380	02E9 23	INC HL
0381	02EA 05	DEC B
0382	02EB C2 E6 02	JP NZ, COMPL
0383	02EE 11 85 07	LD DE, 0785H
0384	02F1 3E 01	LD A, 01H
0385	02F3 32 85 07	LD (0785H), A

0386	02F6 3E 00	LD A, 00H
0387	02F8 32 84 07	LD (0784H), A
0388	02FB 32 33 06	LD (0633H), A
0389	02FE 06 03	LD B, 03H
0390	0300 2B	DEC HL
0391	0301 CD AC 02	CALL SUM24B
0392	0304 C9	RET
0393	0305 36 11	RESTR1: LD (HL), 11H
0394	0307 3E 00	LD A, 00H
0395	0309 32 58 07	LD (0758H), A
0396	030C C9	RET
0397	030D	; División entre 400H
0398	030D ED 4B 55 07	DIV: LD BC, (0755H)
0399	0311 CB 39	SRL C
0400	0313 CB 18	RR B
0401	0315 CB 39	SRL C
0402	0317 CB 18	RR B
0403	0319 ED 43 59 07	LD (0759H), BC
0404	031D	; Multiplicar por I
0405	031D 21 00 00	LD HL, 0000H
0406	0320 06 04	LD B, 04H
0407	0322 3A 59 07	LD A, (0759H)
0408	0325 57	LD D, A
0409	0326 3A 5A 07	LD A, (075AH)
0410	0329 5F	LD E, A
0411	032A 3A 05 07	LD A, (0705H)
0412	032D 1F	OBIT1: RRA
0413	032E D2 32 03	JP NC, NOSUM1
0414	0331 19	ADD HL, DE

0415	0332	EB	NOSUM1: EX DE, HL
0416	0333	29	ADD HL, HL
0417	0334	EB	EX DE, HL
0418	0335	05	DEC B
0419	0336	C2 2D 03	JP NZ, OBIT1
0420	0339	7C	LD A, H
0421	033A	32 5B 07	LD (075BH), A
0422	033D	7D	LD A, L
0423	033E	32 5C 07	LD (075CH), A
0424	0341	3A 58 07	LD A, (0758H)
0425	0344	32 5D 07	LD (075DH), A
0426	0347		; Sumar P + I
0427	0347		; Verificación de signos
0428	0347	3A 54 07	LD A, (0754H)
0429	034A	FE 00	CP 00H
0430	034C	CA 5A 03	JP Z, PP
0431	034F	3A 5D 07	LD A, (075DH)
0432	0352	FE 00	CP 00H
0433	0354	CA AE 03	JP Z, PNIP
0434	0357	C3 DE 03	JP PNIN
0435	035A	3A 5D 07	PP: LD A, (075DH)
0436	035D	FE 00	CP 00H
0437	035F	CA 65 03	JP Z, PPIP
0438	0362	C3 7E 03	JP PPIN
0439	0365		; Proporcional e integral positivos
0440	0365	3A 52 07	PPIP: LD A, (0752H)
0441	0368	67	LD H, A
0442	0369	3A 53 07	LD A, (0753H)
0443	036C	6F	LD L, A

0444	036D 3A 5B 07	LD A, (075BH)
0445	0370 57	LD D, A
0446	0371 3A 5C 07	LD A, (075CH)
0447	0374 5F	LD E, A
0448	0375 19	ADD HL, DE
0449	0376 3E 00	LD A, 00H
0450	0378 32 60 07	LD (0760H), A
0451	037B C3 F7 03	JP RESTR2
0452	037E	; Proporcional positivo integral negativo
0453	037E 3A 52 07	PPIN: LD A, (0752H)
0454	0381 67	LD H, A
0455	0382 3A 53 07	LD A, (0753H)
0456	0385 6F	LD L, A
0457	0386 3A 5B 07	LD A, (075BH)
0458	0389 57	LD D, A
0459	038A 3A 5C 07	LD A, (075CH)
0460	038D 5F	LD E, A
0461	038E AF	XOR A
0462	038F ED 52	SBC HL, DE
0463	0391 DA 9C 03	JP C, NEGA2
0464	0394 3E 00	LD A, 00H
0465	0396 32 60 07	LD (0760H), A
0466	0399 C3 F7 03	JP RESTR2
0467	039C 7C	NEGA2: LD A, H
0468	039D 2F	CPL
0469	039E 67	LD H, A
0470	039F 7D	LD A, L
0471	03A0 2F	CPL
0472	03A1 6F	LD L, A

0473	03A2 11 01 00	LD DE, 0001H
0474	03A5 19	ADD HL, DE
0475	03A6 3E 01	LD A, 01H
0476	03A8 32 60 07	LD (0760H), A
0477	03AB C3 F7 03	JP RESTR2
0478	03AE	; Proporcional negativo integral positivo
0479	03AE 3A 52 07	PNIP: LD A, (0752H)
0480	03B1 57	LD D, A
0481	03B2 3A 53 07	LD A, (0753H)
0482	03B5 5F	LD E, A
0483	03B6 3A 5B 07	LD A, (075BH)
0484	03B9 67	LD H, A
0485	03BA 3A 5C 07	LD A, (075CH)
0486	03BD 6F	LD L, A
0487	03BE AF	XOR A
0488	03BF ED 52	SBC HL, DE
0489	03C1 DA CC 03	JP C, NEGA3
0490	03C4 3E 00	LD A, 00H
0491	03C6 32 60 07	LD (0760H), A
0492	03C9 C3 F7 03	JP RESTR2
0493	03CC 7C	NEGA3: LD A, H
0494	03CD 2F	CPL
0495	03CE 67	LD H, A
0496	03CF 7D	LD A, L
0497	03D0 2F	CPL
0498	03D1 6F	LD L, A
0499	03D2 11 01 00	LD DE, 0001H
0500	03D5 19	ADD HL, DE
0501	03D6 3E 01	LD A, 01H

0502 03D8 32 60 07 LD (0760H), A
 0503 03DB C3 F7 03 JP RESTR2
 0504 03DE ; Proporcional e integral negativos
 0505 03DE 3A 52 07 PNIN: LD A, (0752H)
 0506 03E1 67 LD H, A
 0507 03E2 3A 53 07 LD A, (0753H)
 0508 03E5 6F LD L, A
 0509 03E6 3A 5B 07 LD A, (075BH)
 0510 03E9 57 LD D, A
 0511 03EA 3A 5C 07 LD A, (075CH)
 0512 03ED 5F LD E, A
 0513 03EE 19 ADD HL, DE
 0514 03EF 3E 01 LD A, 01H
 0515 03F1 32 60 07 LD (0760H), A
 0516 03F4 C3 F7 03 JP RESTR2
 0517 03F7 ; Restricción de rango
 0518 03F7 7C RESTR2: LD A, H
 0519 03F8 FE 42 CP 042H
 0520 03FA DA 00 04 JP C, GUARDA
 0521 03FD 3E 42 LD A, 042H
 0522 03FF 67 LD H, A
 0523 0400 7C GUARDA: LD A, H
 0524 0401 32 5E 07 LD (075EH), A
 0525 0404 7D LD A, L
 0526 0405 32 5F 07 LD (075FH), A
 0527 0408 ; Elección de seguir con D
 0528 0408 3A 03 07 LD A, (0703H)
 0529 040B FE 04 CP 04
 0530 040D CA D6 05 JP Z, ANAOUT

5.9 MÓDULO DE MODO PROPORCIONAL + INTEGRAL + DERIVATIVO

El módulo de modo proporcional + integral + derivativo es operado si en el módulo de señal de modo de control se estableció esta forma de control. Las operaciones se basan inicialmente en obtener el resultado de la operación proporcional + integral proporcionada por su correspondiente módulo, luego se realiza el cálculo de la diferencia de errores para posteriormente multiplicarlo por la constante derivativa, que se obtiene de la comunicación hacia el software de visualización; luego se divide por el tiempo de muestreo, el cual se toma como ($1/400_H = 1/1024_D = 0.97 \text{ ms}$). Estableciéndose las rutinas de verificación de comunicación, valores obtenidos en rango de operación. El resultado de la operación derivativa es sumado algebraicamente con el resultado de la operación proporcional + integral para su traslado hacia el módulo de señal analógica de salida. En este módulo se estableció una restricción de diferencia de errores mayor de 63 grados, esto con el propósito de evitar variaciones grandes en la señal de salida debido al efecto de la diferenciación.

Operación Proporcional + Integral + Derivativa = Operación Proporcional + Integral + Constante Derivativa x Diferencial de error / Tiempo Muestreo ($1/400_H$)

$$P + I + D = K_P E + K_I \tau \sum E + K_D \frac{\Delta E}{\tau}$$

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0531 0410 ;
0532 0410 ; MODO DERIVATIVO
0533 0410 ; Leer bandera de entrada
0534 0410 DB 08 IN A, (08H)

0535	0412 32 07 07	LD (0707H), A
0536	0415 FE FF	CP 0FFH
0537	0417 CA 1D 04	JP Z, SICOM4
0538	041A C3 41 04	JP OPERA2
0539	041D	; Leer constante derivativa
0540	041D DB 07	SICOM4: IN A, (07H)
0541	041F	; Verificar si esta en rango
0542	041F 47	LD B, A
0543	0420 3E 01	LD A, 01H
0544	0422 B8	CP B
0545	0423 DA 37 04	JP C, FUERA4
0546	0426 78	LD A, B
0547	0427 32 06 07	LD (0706H), A
0548	042A 3A 08 07	LD A, (0708H)
0549	042D CB FF	SET 7, A
0550	042F D3 05	OUT (05H), A
0551	0431 32 08 07	LD (0708H), A
0552	0434 C3 41 04	JP OPERA2
0553	0437 3A 08 07	FUERA4:LD A, (0708H)
0554	043A CB BF	RES 7, A
0555	043C D3 05	OUT (05H), A
0556	043E 32 08 07	LD (0708H), A
0557	0441	; Operación derivativa
0558	0441	; Diferencia de errores
0559	0441	; Verificación de signos
0560	0441 3A 51 07	OPERA2: LD A, (0751H)
0561	0444 FE 00	CP 00H
0562	0446 CA 54 04	JP Z, AP
0563	0449 3A 62 07	LD A, (0762H)

0564 044C FE 00 CP 00H
 0565 044E CA 78 04 JP Z, ANLP
 0566 0451 C3 83 04 JP ANLN
 0567 0454 3A 62 07 AP: LD A, (0762H)
 0568 0457 FE 00 CP 00H
 0569 0459 CA 5F 04 JP Z, APLP
 0570 045C C3 6D 04 JP APLN
 0571 045F ; Actual y anterior positivos
 0572 045F 3A 61 07 APLP: LD A, (0761H)
 0573 0462 47 LD B, A
 0574 0463 3A 50 07 LD A, (0750H)
 0575 0466 90 SUB B
 0576 0467 DA 91 04 JP C, NEGA4
 0577 046A C3 A3 04 JP GUARD1
 0578 046D ; Actual positivo anterior negativo
 0579 046D 3A 61 07 APLN: LD A, (0761H)
 0580 0470 47 LD B, A
 0581 0471 3A 50 07 LD A, (0750H)
 0582 0474 80 ADD A, B
 0583 0475 C3 A3 04 JP GUARD1
 0584 0478 ; Actual negativo anterior positivo
 0585 0478 3A 61 07 ANLP: LD A, (0761H)
 0586 047B 47 LD B, A
 0587 047C 3A 50 07 LD A, (0750H)
 0588 047F 80 ADD A, B
 0589 0480 C3 93 04 JP NEGA5
 0590 0483 ; Actual y anterior negativos
 0591 0483 3A 50 07 ANLN: LD A, (0750H)
 0592 0486 47 LD B, A

0593 0487 3A 61 07 LD A, (0761H)
 0594 048A 90 SUB B
 0595 048B DA 91 04 JP C, NEGA4
 0596 048E C3 A3 04 JP GUARD1
 0597 0491 ; Diferencial de errores negativo
 0598 0491 ED 44 NEGA4: NEG
 0599 0493 FE 3F NEGA5: CP 3FH
 0600 0495 D2 B3 04 JP NC, RESTR3
 0601 0498 32 64 07 LD (0764H), A
 0602 049B 3E 01 LD A, 01H
 0603 049D 32 65 07 LD (0765H), A
 0604 04A0 C3 CD 04 JP INTER
 0605 04A3 ; Diferencial de errores positivo
 0606 04A3 FE 3F GUARD1: CP 3FH
 0607 04A5 D2 C0 04 JP NC, RESTR4
 0608 04A8 32 64 07 LD (0764H), A
 0609 04AB 3E 00 LD A, 00H
 0610 04AD 32 65 07 LD (0765H), A
 0611 04B0 C3 CD 04 JP INTER
 0612 04B3 ; Restricción de cambio en error
 0613 04B3 3E 3F RESTR3: LD A, 3FH
 0614 04B5 32 64 07 LD (0764H), A
 0615 04B8 3E 01 LD A, 01H
 0616 04BA 32 65 07 LD (0765H), A
 0617 04BD C3 CD 04 JP INTER
 0618 04C0 3E 3F RESTR4: LD A, 3FH
 0619 04C2 32 64 07 LD (0764H), A
 0620 04C5 3E 00 LD A, 00H
 0621 04C7 32 65 07 LD (0765H), A

0622 04CA C3 CD 04 JP INTER
 0623 04CD ; Intercambio de error actual y anterior
 0624 04CD 3A 50 07 INTER: LD A, (0750H)
 0625 04D0 32 61 07 LD (0761H), A
 0626 04D3 3A 51 07 LD A, (0751H)
 0627 04D6 32 62 07 LD (0762H), A
 0628 04D9 ; Multiplicarlo x D
 0629 04D9 3A 06 07 LD A, (0706H)
 0630 04DC FE 00 CP 00H
 0631 04DE CA F5 04 JP Z, CERO
 0632 04E1 3E 00 LD A, 00H
 0633 04E3 32 66 07 LD (0766H), A
 0634 04E6 3A 64 07 LD A, (0764H)
 0635 04E9 32 67 07 LD (0767H), A
 0636 04EC 3A 65 07 LD A, (0765H)
 0637 04EF 32 68 07 LD (0768H), A
 0638 04F2 C3 00 05 JP M400
 0639 04F5 3E 00 CERO: LD A, 00H
 0640 04F7 32 66 07 LD (0766H), A
 0641 04FA 32 67 07 LD (0767H), A
 0642 04FD 32 68 07 LD (0768H), A
 0643 0500 ; Multiplicarlo por 400H
 0644 0500 3A 67 07 M400: LD A, (0767H)
 0645 0503 CB 27 SLA A
 0646 0505 CB 27 SLA A
 0647 0507 32 69 07 LD (0769H), A
 0648 050A 3E 00 LD A, 00H
 0649 050C 32 6A 07 LD (076AH), A
 0650 050F 3A 68 07 LD A, (0768H)

0651 0512 32 6B 07 LD (076BH), A
 0652 0515 ; Sumar P + I + D
 0653 0515 ; Verificación de signos
 0654 0515 3A 60 07 LD A, (0760H)
 0655 0518 FE 00 CP 00H
 0656 051A CA 28 05 JP Z, IP
 0657 051D 3A 6B 07 LD A, (076BH)
 0658 0520 FE 00 CP 00H
 0659 0522 CA 7C 05 JP Z, INDP
 0660 0525 C3 AC 05 JP INDN
 0661 0528 3A 6B 07 IP: LD A, (076BH)
 0662 052B FE 00 CP 00H
 0663 052D CA 33 05 JP Z, IPDP
 0664 0530 C3 4C 05 JP IPDN
 0665 0533 ; Integral y derivativo positivos
 0666 0533 3A 5E 07 IPDP: LD A, (075EH)
 0667 0536 67 LD H, A
 0668 0537 3A 5F 07 LD A, (075FH)
 0669 053A 6F LD L, A
 0670 053B 3A 69 07 LD A, (0769H)
 0671 053E 57 LD D, A
 0672 053F 3A 6A 07 LD A, (076AH)
 0673 0542 5F LD E, A
 0674 0543 19 ADD HL, DE
 0675 0544 3E 00 LD A, 00H
 0676 0546 32 6E 07 LD (076EH), A
 0677 0549 C3 C5 05 JP RESTR5
 0678 054C ; Integral positivo derivativo negativo
 0679 054C 3A 5E 07 IPDN: LD A, (075EH)

0680	054F 67	LD H, A
0681	0550 3A 5F 07	LD A, (075FH)
0682	0553 6F	LD L, A
0683	0554 3A 69 07	LD A, (0769H)
0684	0557 57	LD D, A
0685	0558 3A 6A 07	LD A, (076AH)
0686	055B 5F	LD E, A
0687	055C AF	XOR A
0688	055D ED 52	SBC HL, DE
0689	055F DA 6A 05	JP C, NEGA6
0690	0562 3E 00	LD A, 00H
0691	0564 32 6E 07	LD (076EH), A
0692	0567 C3 C5 05	JP RESTR5
0693	056A 7C	NEGA6: LD A, H
0694	056B 2F	CPL
0695	056C 67	LD H, A
0696	056D 7D	LD A, L
0697	056E 2F	CPL
0698	056F 6F	LD L, A
0699	0570 11 01 00	LD DE, 0001H
0700	0573 19	ADD HL, DE
0701	0574 3E 01	LD A, 01H
0702	0576 32 6E 07	LD (076EH), A
0703	0579 C3 C5 05	JP RESTR5
0704	057C	; Integral negativo derivativo positivo
0705	057C 3A 5E 07	INDP: LD A, (075EH)
0706	057F 57	LD D, A
0707	0580 3A 5F 07	LD A, (075FH)
0708	0583 5F	LD E, A

0709	0584 3A 69 07	LD A, (0769H)
0710	0587 67	LD H, A
0711	0588 3A 6A 07	LD A, (076AH)
0712	058B 6F	LD L, A
0713	058C AF	XOR A
0714	058D ED 52	SBC HL, DE
0715	058F DA 9A 05	JP C, NEGA7
0716	0592 3E 00	LD A, 00H
0717	0594 32 6E 07	LD (076EH), A
0718	0597 C3 C5 05	JP RESTR5
0719	059A 7C	NEGA7: LD A, H
0720	059B 2F	CPL
0721	059C 67	LD H, A
0722	059D 7D	LD A, L
0723	059E 2F	CPL
0724	059F 6F	LD L, A
0725	05A0 11 01 00	LD DE, 0001H
0726	05A3 19	ADD HL, DE
0727	05A4 3E 01	LD A, 01H
0728	05A6 32 6E 07	LD (076EH), A
0729	05A9 C3 C5 05	JP RESTR5
0730	05AC	; Integral y derivativo negativos
0731	05AC 3A 5E 07	INDN: LD A, (075EH)
0732	05AF 67	LD H, A
0733	05B0 3A 5F 07	LD A, (075FH)
0734	05B3 6F	LD L, A
0735	05B4 3A 69 07	LD A, (0769H)
0736	05B7 57	LD D, A
0737	05B8 3A 6A 07	LD A, (076AH)

0738	05BB 5F	LD E, A
0739	05BC 19	ADD HL, DE
0740	05BD 3E 01	LD A, 01H
0741	05BF 32 6E 07	LD (076EH), A
0742	05C2 C3 C5 05	JP RESTR5
0743	05C5	; Restricción de rango
0744	05C5 7C	RESTR5: LD A, H
0745	05C6 FE 42	CP 042H
0746	05C8 DA CE 05	JP C, GUARD2
0747	05CB 3E 42	LD A, 042H
0748	05CD 67	LD H, A
0749	05CE 7C	GUARD2: LD A, H
0750	05CF 32 6C 07	LD (076CH), A
0751	05D2 7D	LD A, L
0752	05D3 32 6D 07	LD (076DH), A

5.10 MÓDULO DE SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA

El módulo de señal analógica de salida se encarga de realizar la parametrización del dato obtenido de las operaciones del modo de control previamente seleccionado, esto con el propósito de establecer la señal de salida dentro de su rango de operación, dicha señal servirá para operar la válvula de vapor.

Operaciones del

Módulo de Control ε Parametrización ε Señal Analógica de Salida

$$\text{Señal Analógica de Salida} = \frac{15_H}{1000_H} \text{ Dato} + 80_H$$

A continuación se presenta la lista de las direcciones de memoria, el código hexadecimal, etiquetas, mnemónicos y comentarios del módulo.

0753 05D6 ;
 0754 05D6 ; ESCRIBIR SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA
 0755 05D6 ; Localizar datos
 0756 05D6 3A 03 07 ANAOUT: LD A, (0703H)
 0757 05D9 FE 02 CP 02H
 0758 05DB CA F7 05 JP Z, DP
 0759 05DE FE 04 CP 04H
 0760 05E0 CA ED 05 JP Z, DPI
 0761 05E3 ; Datos PID
 0762 05E3 3A 6E 07 LD A, (076EH)
 0763 05E6 47 LD B, A
 0764 05E7 3A 6C 07 LD A, (076CH)
 0765 05EA C3 FE 05 JP DD48
 0766 05ED ; Datos PI
 0767 05ED 3A 60 07 DPI: LD A, (0760H)
 0768 05F0 47 LD B, A
 0769 05F1 3A 5E 07 LD A, (075EH)
 0770 05F4 C3 FE 05 JP DD48
 0771 05F7 ; Datos P
 0772 05F7 3A 54 07 DP: LD A, (0754H)
 0773 05FA 47 LD B, A
 0774 05FB 3A 52 07 LD A, (0752H)
 0775 05FE ; Dividirlo entre 1000H
 0776 05FE CB 3F DD48: SRL A
 0777 0600 CB 3F SRL A
 0778 0602 CB 3F SRL A
 0779 0604 CB 3F SRL A
 0780 0606 ; Multiplicarlo por 15H
 0781 0606 4F LD C, A

0782	0607 3E 15	LD A, 15H
0783	0609 5F	LD E, A
0784	060A 16 04	LD D, 04H
0785	060C 26 00	LD H, 00H
0786	060E CB 19	OBIT2: RR C
0787	0610 D2 16 06	JP NC, NOSUM2
0788	0613 7C	LD A, H
0789	0614 83	ADD A, E
0790	0615 67	LD H, A
0791	0616 7B	NOSUM2: LD A, E
0792	0617 87	ADD A, A
0793	0618 5F	LD E, A
0794	0619 15	DEC D
0795	061A C2 0E 06	JP NZ, OBIT2
0796	061D 7C	LD A, H
0797	061E 32 70 07	LD (0770H), A
0798	0621	; Verificar signo
0799	0621 78	LD A, B
0800	0622 FE 00	CP 00H
0801	0624 CA 38 06	JP Z, POSI
0802	0627	; Resta
0803	0627 3A 70 07	LD A, (0770H)
0804	062A 47	LD B, A
0805	062B 3E 80	LD A, 080H
0806	062D 90	SUB B
0807	062E 32 01 07	LD (0701H), A
0808	0631 D3 02	OUT (02H), A
0809	0633 D3 04	OUT (04H), A
0810	0635 C3 4C 00	JP ANAIN

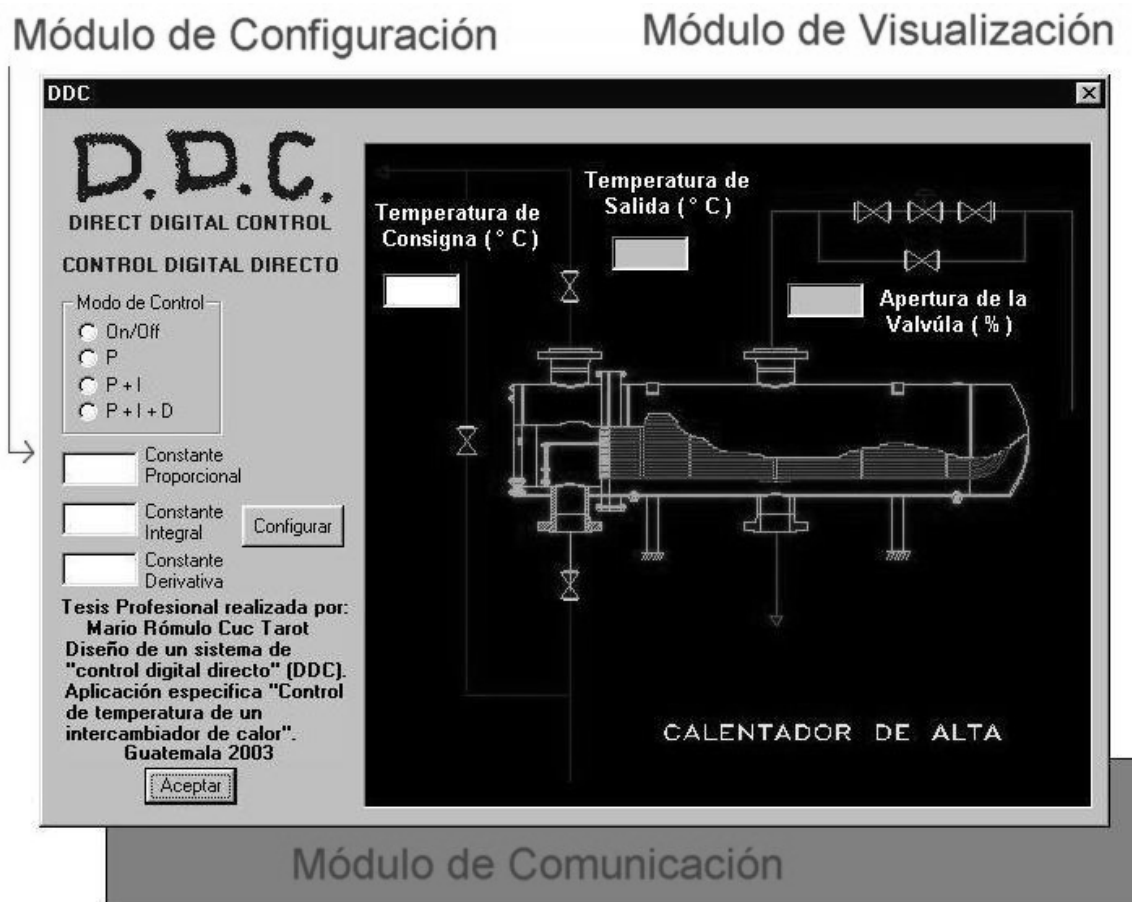
```
0811 0638          ; Suma
0812 0638 3A 70 07  POSI:  LD A, (0770H)
0813 063B 47          LD B, A
0814 063C 3E 80      LD A, 080H
0815 063E 80          ADD A, B
0816 063F 32 01 07   LD (0701H), A
0817 0642 D3 02      OUT (02H), A
0818 0644 D3 04      OUT (04H), A
0819 0646 C3 4C 00   JP ANAIN
```

6. DISEÑO DEL SOFTWARE DE INTERFASE DEL SISTEMA

El software de interfase del sistema esta realizado en lenguaje de programación de alto nivel Visual C++. El desarrollo se dividió en tres módulos que son: módulo de visualización del proceso, módulo de configuración del controlador y el módulo de comunicación con el controlador.

A continuación se presenta la forma como esta estructurado el software de interfase del sistema.

Figura 23. Estructura del software de interfase del sistema



6.1 Módulo de visualización

El módulo de visualización se encarga de presentar al usuario en forma grafica el proceso que se esta controlando, en nuestro caso un calentador de alta presión (intercambiador de calor) utilizado comúnmente en la industria con el nombre de intercambiador de concha y tubo.

Se presenta la temperatura medida a la salida del calentador de alta presión, la apertura de la válvula de vapor (con la cual se regula la temperatura medida) y tiene el registro para poder ingresar cuál es la temperatura de consigna deseada a la salida del intercambiador de calor.

6.2 Módulo de configuración

El módulo de configuración, se encarga de presentar al usuario los diversos registros para configurar el modo de control deseado en el proceso, siendo estos on/off, proporcional, proporcional + integral y proporcional + integral + derivativo, junto con sus respectivas constantes de control.

6.3 Módulo de comunicación

El módulo de comunicación no se encuentra a la vista del usuario, pero es el encargado de realizar la comunicación entre el software de visualización y el microprocesador dedicado al control, por medio de este módulo se transfiere la configuración deseada hacia el microprocesador, se mantienen monitoreándose las comunicaciones en ambas vías, así como también se obtienen los datos medidos del proceso.

A continuación se presenta el programa de interfase, con sus respectivos comentarios, ya que la programación se presenta en forma de objetos y clases, el listado del programa no es estructurado.


```

// DDCLg.cpp : implementation file
//

#include "stdafx.h"
#include "DDC.h"
#include "DDCLg.h"
#include "conio.h"
#include "io.h"

#ifdef _DEBUG
#define new DEBUG_NEW
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[] = __FILE__;
#endif

char  buffer[255];
BYTE  a;

//-----
DWORD
HexToInt(char* s)
{
    char hexch[] = "0123456789ABCDEF";
    int i,j;
    DWORD r,n,k;
    char ch;

    k=1; r=0;
    for (i=strlen(s); i>0; i--) {
        ch = s[i-1]; if (ch > 0x3f) ch &= 0xDF;
        n = 0;
        for (j = 0; j<16; j++)
            if (ch == hexch[j])
                n = j;
        r += (n*k);
        k *= 16;
    }
    return r;
}

DWORD
DecToInt(char* s)
{

```

```

        char decch[] = "0123456789";
        int i,j;
    DWORD r,n,k;
    char ch;

        k=1; r=0;
        for (i=strlen(s); i>0; i--) {
            ch = s[i-1]; if (ch > 0x3f) ch &= 0xDF;
            n = 0;
            for (j = 0; j<10; j++)
                if (ch == decch[j])
                    n = j;
            r += (n*k);
            k *= 10;
        }
        return r;
    }

    ////////////////////////////////////////////////////////////////////
    // CAboutDlg dialog used for App About

class CAboutDlg : public CDialog
{
public:
    CAboutDlg();

    // Dialog Data
   //{{AFX_DATA(CAboutDlg)
    enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };
    //}}AFX_DATA

    // ClassWizard generated virtual function overrides
   //{{AFX_VIRTUAL(CAboutDlg)
protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV
support
    //}}AFX_VIRTUAL

    // Implementation
protected:
   //{{AFX_MSG(CAboutDlg)
    //}}AFX_MSG
    DECLARE_MESSAGE_MAP()
};

```

```

CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialog(CAboutDlg::IDD)
{
   //{{AFX_DATA_INIT(CAboutDlg)
   //}}AFX_DATA_INIT
}

void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
   //{{AFX_DATA_MAP(CAboutDlg)
   //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CAboutDlg, CDialog)
   //{{AFX_MSG_MAP(CAboutDlg)
    // No message handlers
   //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
// CDDCDlg dialog

CDDCDlg::CDDCDlg(CWnd* pParent /*=NULL*/)
: CDialog(CDDCDlg::IDD, pParent)
{
   //{{AFX_DATA_INIT(CDDCDlg)
    //
    // Valores iniciales de las constantes a utilizar
    //
    m_TemperaturadeConsigna = 43;
    m_ConstanteDerivativa = 0;
    m_ConstanteIntegral = 5;
    m_ConstanteProporcional = 19;
    m_MododeControl = 2;
    m_TemperaturadeSalida = 43;
    m_AperturaValvula = 0;

   //}}AFX_DATA_INIT
    // Note that LoadIcon does not require a subsequent DestroyIcon in
Win32
    m_hIcon = AfxGetApp()->LoadIcon(IDR_MAINFRAME);
}

```

```

void CDDCDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)
{
    CDialog::DoDataExchange(pDX);
   //{{AFX_DATA_MAP(CDDCDlg)

    DDX_Text(pDX, IDC_CONSIGNA, m_TemperaturadeConsigna);
    DDV_MinMaxInt(pDX, m_TemperaturadeConsigna, 0, 300);
    DDX_Text(pDX, IDC_DERIVATIVA, m_ConstanteDerivativa);
    DDV_MinMaxInt(pDX, m_ConstanteDerivativa, 0, 1);
    DDX_Text(pDX, IDC_INTEGRAL, m_ConstanteIntegral);
    DDV_MinMaxInt(pDX, m_ConstanteIntegral, 0, 15);
    DDX_Text(pDX, IDC_PROPORCIONAL, m_ConstanteProporcional);
    DDV_MinMaxInt(pDX, m_ConstanteProporcional, 0, 100);
    DDX_Radio(pDX, IDC_ONOFF, m_MododeControl);
    DDX_Text(pDX, IDC_TEMPERATURA, m_TemperaturadeSalida);
    DDV_MinMaxInt(pDX, m_TemperaturadeSalida, 0, 300);
    DDX_Text(pDX, IDC_VALVULA, m_AperturaValvula);
    DDV_MinMaxInt(pDX, m_AperturaValvula, 0, 100);

    //}}AFX_DATA_MAP
}

BEGIN_MESSAGE_MAP(CDDCDlg, CDialog)
   //{{AFX_MSG_MAP(CDDCDlg)

    ON_WM_SYSCOMMAND()
    ON_WM_PAINT()
    ON_WM_QUERYDRAGICON()
    ON_WM_TIMER()
    ON_BN_CLICKED(IDC_CONFIGURAR, OnConfigurar)

    //}}AFX_MSG_MAP
END_MESSAGE_MAP()

////////////////////////////////////
// CDDCDlg message handlers

BOOL CDDCDlg::OnInitDialog()
{
    CDialog::OnInitDialog();

    // Add "About..." menu item to system menu.

    // IDM_ABOUTBOX must be in the system command range.

```

```

ASSERT((IDM_ABOUTBOX & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX);
ASSERT(IDM_ABOUTBOX < 0xF000);

CMenu* pSysMenu = GetSystemMenu(FALSE);
if (pSysMenu != NULL)
{
    CString strAboutMenu;
    strAboutMenu.LoadString(IDS_ABOUTBOX);
    if (!strAboutMenu.IsEmpty())
    {
        pSysMenu->AppendMenu(MF_SEPARATOR);
        pSysMenu->AppendMenu(MF_STRING, IDM_ABOUTBOX,
strAboutMenu);
    }
}

// Set the icon for this dialog. The framework does this automatically
// when the application's main window is not a dialog
SetIcon(m_hIcon, TRUE);           // Set big icon
SetIcon(m_hIcon, FALSE);        // Set small icon

// TODO: Add extra initialization here
//
// Mensaje de error de no poder encontrar la DLL
//
if (LoadIODLL()){
    MessageBeep(0);
    MessageBox("No se encontro la DLL.",
        " Warning! ",MB_OK | MB_ICONWARNING);
}

// Valor inicial de la bandera de comunicacion

int BanderadeComunicaciondeEscritura = 255;

//
// Inicializacion de los puertos de comunicacion hacia el microprocesador

PortOut (768, m_TemperaturadeConsigna);
PortOut (769, 4);
PortOut (770, m_ConstanteProporcional);
PortOut (771, m_ConstanteIntegral);
PortOut (772, m_ConstanteDerivativa);
PortOut (773, BanderadeComunicaciondeEscritura);

```

```

//
// Inicializacion del timer de muestreo de datos de variables
//
m_nTimer = SetTimer(1, 1000, NULL); // 1000 ms = 1 segundo
ASSERT (m_nTimer != 0);

return TRUE; // return TRUE unless you set the focus to a control
}

```

```

void CDDCDlg::OnSysCommand(UINT nID, LPARAM lParam)
{
    if ((nID & 0xFFF0) == IDM_ABOUTBOX)
    {
        CAboutDlg dlgAbout;
        dlgAbout.DoModal();
    }
    else
    {
        CDialog::OnSysCommand(nID, lParam);
    }
}

```

// If you add a minimize button to your dialog, you will need the code below
// to draw the icon. For MFC applications using the document/view model,
// this is automatically done for you by the framework.

```

void CDDCDlg::OnPaint()
{
    if (IsIconic())
    {
        CPaintDC dc(this); // device context for painting

        SendMessage(WM_ICONERASEBKGND,          (LPARAM)
dc.GetSafeHdc(), 0);

        // Center icon in client rectangle
        int cxIcon = GetSystemMetrics(SM_CXICON);
        int cyIcon = GetSystemMetrics(SM_CYICON);
        CRect rect;
        GetClientRect(&rect);
        int x = (rect.Width() - cxIcon + 1) / 2;
        int y = (rect.Height() - cyIcon + 1) / 2;
    }
}

```

```

        // Draw the icon
        dc.DrawIcon(x, y, m_hIcon);
    }
    else
    {
        CDialog::OnPaint();
    }
}

// The system calls this to obtain the cursor to display while the user drags
// the minimized window.
HCURSOR CDDCDlg::OnQueryDragIcon()
{
    return (HCURSOR) m_hIcon;
}

void CDDCDlg::OnTimer(UINT nIDEvent)
{
    // TODO: Add your message handler code here and/or call default

    // Lee la bandera de comunicacion de lectura

    sprintf(buffer, "%02hX", PortIn( 770 ));

    // Lee la temperatura de salida

    sprintf(buffer, "%02hX", PortIn( 768 ));
    a = (BYTE) HexToInt(buffer);
    sprintf(buffer, "%d", a);
    SetDlgItemText(IDC_TEMPERATURA, buffer);

    // Lee la apertura de la valvula

    sprintf(buffer, "%02hX", PortIn( 769 ));
    a = (BYTE) HexToInt(buffer);
    sprintf(buffer, "%d", a);
    SetDlgItemText(IDC_VALVULA, buffer);

    CDialog::OnTimer(nIDEvent);
}

```

```

void CDDCDlg::OnConfigurar()
{
    // TODO: Add your control notification handler code here
    UpdateData(TRUE);

    // Manda el dato de la temperatura de Consigna
    PortOut (768, m_TemperaturadeConsigna);

    // Manda el dato del modo de control
    switch( m_MododeControl )
    {
        case 0:
            PortOut (769, 1);
            break;
        case 1 :
            PortOut (769, 2);
            break;
        case 2 :
            PortOut (769, 4);
            break;
        case 3 :
            PortOut (769, 8);
            break;
        default :
            PortOut (769, 4);
    }

    // Manda el dato de la constante proporcional
    PortOut (770, m_ConstanteProporcional);

    // Manda el dato de la constante integral
    PortOut (771, m_ConstanteIntegral);

    // Manda el dato de la constante derivativa
    PortOut (772, m_ConstanteDerivativa);

    // Manda el dato de la Bandera de Comunicacion de Escritura
    PortOut (773, 255);

    UpdateData(FALSE);
}

```


7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de funcionamiento del sistema fueron divididas en tres secciones: de *hardware*, de lenguaje de programación assembler y de lenguaje de programación en lenguaje de alto nivel.

7.1 sección de *hardware*

Las pruebas de funcionamiento del *hardware* se realizaron de la siguiente manera:

- Para el convertidor analógico digital se fijaron varios valores a la entrada analógica del convertidor y se tomó lectura de las salidas digitales, esto cumpliendo con la tabla I del capítulo 4.
- Para el convertidor digital analógico se fijaron las entradas digitales a diversos valores y luego se tomó lectura de la salida analógica, cumpliendo con la tabla II del capítulo 4.
- Para la interfase con la PC se comprobó su funcionamiento principalmente con la decodificación de direcciones, estableciéndose la correcta correspondencia de la tabla VI del capítulo 4.
- Se comprobó el correcto direccionamiento de cada uno de los puertos de lectura y de escritura correspondiendo con la tabla VI del capítulo 4.

7.2 Sección de programación assembler

Para verificar el correcto funcionamiento del programa assembler se utilizó un simulador de operación del microprocesador Zilog Z-80 luego se comparó contra resultados precalculados en hojas electrónicas:

- Se probó el módulo de inicialización verificándose que luego de su finalización los valores iniciales de las variables estuvieran ubicadas en sus registros correspondientes.
- En el módulo de señal analógica de entrada se realizó la prueba de la incorrecta operación del ADC por medio del proceso de "Fallo ADC", luego su correcta operación por medio del proceso "ADC Bien", la lectura de la señal analógica de entrada con un valor bajo de rango se comprobó con el proceso "Temp. Obte. Bajo Rango", la lectura con un valor alto de rango se comprobó en el proceso "Temp. Obte. Sobre Rango", la lectura de un valor dentro del rango se comprobó en el proceso "Temp. Obte. En Rango".
- En el módulo de señal de temperatura de consigna se realizó la prueba de falla en la comunicación hacia la PC en el proceso de "Temp. *Consig.* Sin Bandera", la correcta comunicación hacia la PC se comprobó en el proceso "Temp. *Consig.* Con Bandera", la lectura de la señal de temperatura de consigna con un valor bajo de rango se comprobó con el proceso "Temp. *Consig.* Bajo Rango", la lectura con

un valor alto de rango se comprobó en el proceso “*Temp. Consig. Sobre Rango*”, la lectura de un valor dentro del rango se comprobó en el proceso “*Temp. Obte. En Rango*”.

- En el módulo de cálculo de error y signo se realizó la prueba de error negativo en el proceso “Error Negativo” y luego la prueba de error positivo en el proceso “Error Positivo”.

Estos procesos precalculados se muestran en las siguientes tablas: (tabla VII I, tabla IX, tabla X).

Tabla VIII. Procesos Precalculados (A)

		FALLA ADC	ADC BIEN	TEMP. OBTE ABAJO RAN(TEMP. OBTE SOBRE RAN(TEMP. OBTE EN RANGO	TEMP. OBTE
INICIALIZACIÓN							
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	OUT (02)	2B	2B	2B	2B	2B	2B
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	0701H	2B	2B	2B	2B	2B	2B
APERTURA VÁLVULA	OUT (04)	2B	2B	2B	2B	2B	2B
TEMPERATURA OBTENIDA	0700H	2B	2B	2B	2B	2B	2B
TEMPERATURA OBTENIDA	OUT (03)	2B	2B	2B	2B	2B	2B
TEMPERATURA CONSIGNA	0702H	2B	2B	2B	2B	2B	2B
MODO DE CONTROL	0703H		4	4	4	4	4
CONSTANTE PROPORCIONAL	0704H		13	13	13	13	13
CONSTANTE INTEGRAL	0705H		5	5	5	5	5
CONSTANTE DERIVATIVA	0706H		0	0	0	0	0
BANDERA DE LECTURA	0707H		0	0	0	0	0
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	FF	FF	FF	FF	FF	FF
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	FF	FF	FF	FF	FF	FF
ERROR ACUMULADO ABC	0755H		0	0	0	0	0
ERROR ACUMULADO ABC	0756H		0	0	0	0	0
ERROR ACUMULADO ABC	0757H		0	0	0	0	0
SIGNO ERROR ACUMULADO	0758H		0	0	0	0	0
ERROR ANTERIOR	0761H		50	50	50	50	50
SIGNO ERROR ANTERIOR	0762H		0	0	0	0	0
LEER SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA							
Leer puerto de entrada							
INICIO DE CONVERSIÓN	OUT (01)	FF	FF	FF	FF	FF	FF
FIN DE CONVERSIÓN	IN (02)	FF		0	0	0	0
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	11111011	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	11111011	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA	IN (01)			20	20 DD		50
Verificar si esta en rango							
BANDERA DE ESCRITURA	0708H			11111101	11111101	11111111	
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)			11111101	11111101	11111111	
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	OUT (02)			2B	2B		
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	0701H			2B	2B		
APERTURA VÁLVULA	OUT (04)			2B	2B		
TEMPERATURA OBTENIDA	0700H						50
TEMPERATURA OBTENIDA	OUT (03)						50
LEER TEMPERATURA DE CONSIGNA							
BANDERA DE LECTURA	IN (08)						
BANDERA DE LECTURA	0707H						
TEMPERATURA CONSIGNA	0702H						
TEMPERATURA CONSIGNA	IN (03)						
BANDERA DE ESCRITURA	0708H						
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)						
CALCULO DE ERROR Y SIGNO							
ERROR	0750H						
SIGNO	0751H						

Tabla IX. Procesos precalculados (B)

		TEMP.	CONSTEMP.	CONSTEMP.	CONSI	TEMP.	CONSTEMP.	CONSI
		SIN BANDER	CON BANDEI	ABAJA RANG	SOBRE RAN	EN RANGO		
INICIALIZACIÓN								
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	OUT (02)	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	0701H	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B
APERTURA VÁLVULA	OUT (04)	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B
TEMPERATURA OBTENIDA	0700H	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B
TEMPERATURA OBTENIDA	OUT (03)	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B
TEMPERATURA CONSIGNA	0702H	2B	2B	2B	2B	2B	2B	2B
MODO DE CONTROL	0703H		4	4	4	4	4	4
CONSTANTE PROPORCIONAL	0704H		13	13	13	13	13	13
CONSTANTE INTEGRAL	0705H		5	5	5	5	5	5
CONSTANTE DERIVATIVA	0706H		0	0	0	0	0	0
BANDERA DE LECTURA	0707H		0	0	0	0	0	0
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
ERROR ACUMULADO ABC	0755H		0	0	0	0	0	0
ERROR ACUMULADO ABC	0756H		0	0	0	0	0	0
ERROR ACUMULADO ABC	0757H		0	0	0	0	0	0
SIGNO ERROR ACUMULADO	0758H		0	0	0	0	0	0
ERROR ANTERIOR	0761H		50	50	50	50	50	50
SIGNO ERROR ANTERIOR	0762H		0	0	0	0	0	0
LEER SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA								
Leer puerto de entrada								
INICIO DE CONVERSIÓN	OUT (01)	FF	FF	FF	FF	FF	FF	FF
FIN DE CONVERSIÓN	IN (02)		0	0	0	0	0	0
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA	IN (01)		50	50	50	50	50	50
Verificar si esta en rango								
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	OUT (02)							
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	0701H							
APERTURA VÁLVULA	OUT (04)							
TEMPERATURA OBTENIDA	0700H		50	50	50	50	50	50
TEMPERATURA OBTENIDA	OUT (03)		50	50	50	50	50	50
LEER TEMPERATURA DE CONSIGNA								
BANDERA DE LECTURA	IN (08)		0 FF	FF	FF	FF	FF	FF
BANDERA DE LECTURA	0707H		0 FF	FF	FF	FF	FF	FF
TEMPERATURA CONSIGNA	0702H	2B		2B	2B	2B		80
TEMPERATURA CONSIGNA	IN (03)				20 DD			80
BANDERA DE ESCRITURA	0708H			11110111	11110111	11111111		
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)			11110111	11110111	11111111		
CALCULO DE ERROR Y SIGNO								
ERROR	0750H							
SIGNO	0751H							

Tabla X. Procesos Precalculados (C)

		ERROR NEGATIVO	ERROR POSITIVO
INICIALIZACIÓN			
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	OUT (02)	2B	2B
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	0701H	2B	2B
APERTURA VÁLVULA	OUT (04)	2B	2B
TEMPERATURA OBTENIDA	0700H	2B	2B
TEMPERATURA OBTENIDA	OUT (03)	2B	2B
TEMPERATURA CONSIGNA	0702H	2B	2B
MODO DE CONTROL	0703H		4 4
CONSTANTE PROPORCIONAL	0704H		13 13
CONSTANTE INTEGRAL	0705H		5 5
CONSTANTE DERIVATIVA	0706H		0 0
BANDERA DE LECTURA	0707H		0 0
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	FF	FF
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	FF	FF
ERROR ACUMULADO ABC	0755H		0 0
ERROR ACUMULADO ABC	0756H		0 0
ERROR ACUMULADO ABC	0757H		0 0
SIGNO ERROR ACUMULADO	0758H		0 0
ERROR ANTERIOR	0761H		50 50
SIGNO ERROR ANTERIOR	0762H		0 0
LEER SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA			
Leer puerto de entrada			
INICIO DE CONVERSIÓN	OUT (01)	FF	FF
FIN DE CONVERSIÓN	IN (02)		0 0
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	11111111	11111111
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	11111111	11111111
SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA	IN (01)		50 80
Verificar si esta en rango			
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	11111111	11111111
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	11111111	11111111
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	OUT (02)		
SEÑAL ANALÓGICA DE SALIDA	0701H		
APERTURA VÁLVULA	OUT (04)		
TEMPERATURA OBTENIDA	0700H		50 80
TEMPERATURA OBTENIDA	OUT (03)		50 80
LEER TEMPERATURA DE CONSIGNA			
BANDERA DE LECTURA	IN (08)	FF	FF
BANDERA DE LECTURA	0707H	FF	FF
TEMPERATURA CONSIGNA	0702H		80 50
TEMPERATURA CONSIGNA	IN (03)		80 50
BANDERA DE ESCRITURA	0708H	11111111	11111111
BANDERA DE ESCRITURA	OUT (05)	11111111	11111111
CALCULO DE ERROR Y SIGNO			
ERROR	0750H		30 30
SIGNO	0751H		0 1

7.3 Sección de programación en el lenguaje de alto nivel

El correcto funcionamiento de la programación de alto nivel se verificó de la siguiente manera:

- Se enviaron datos de prueba a los correspondientes puertos a utilizar (300H a 308H), utilizando el *hardware* de interfase a la PC y se monitoreo su correcto direccionamiento y almacenamiento en registros.
- Se leyeron datos de prueba de los puertos de lectura igualmente utilizando el *hardware* de interfase a la PC y se observó su despliegue en el monitor de la PC.

7.4 Puesta en marcha

Para la verificación de la correcta operación del sistema se simularon corrientes analógicas de entrada y se tomaron lectura de los datos de corrientes de salida. Y estos se compararon con datos precalculados por medio de hojas electrónicas.

TM	temperatura medida
TC	temperatura de consigna
DE	cambio del error
KD	constante derivativa
D	operación derivativa
EE	error acumulado
t	tiempo de muestreo (se verificó a 1 segundo de muestreo)
KI	constante integral
I	operación integral
E	error
KP	constante proporcional
P	operación proporcional
P+I+D	resultado de la operación proporcional + integral + derivativa
%	porcentaje de apertura de la válvula
Vo	decimal salida del controlador en formato decimal
Vo Hex.	salida del controlador en formato hexadecimal
Vo Hex. Param.	salida del controlador parametrizada

Tabla XI. Procesos precalculados (D)

Param.	Vo Hex.	Vo Hex	Vo Decimal	%	P+I+D	P	KP	E	I	KI	t	EE	D	KD	DE	TC	TM
80	80		128	50	0	0	19	0	0	5	1	0	0	0	0	43	43
80	7F		127.88	50	-24	-19	19	-1	-5	5	1	-1	0	0	0	43	44
80	7F		127.76	50	-48	-38	19	-2	-10	5	1	-2	0	0	0	43	45
80	7F		127.64	50	-72	-57	19	-3	-15	5	1	-3	0	0	0	43	46
80	7F		127.52	50	-96	-76	19	-4	-20	5	1	-4	0	0	0	43	47
80	7F		127.4	50	-120	-95	19	-5	-25	5	1	-5	0	0	0	43	48
80	7F		127.28	50	-144	-114	19	-6	-30	5	1	-6	0	0	0	43	49
80	7F		127.16	50	-168	-133	19	-7	-35	5	1	-7	0	0	0	43	50
80	7F		127.04	49	-192	-152	19	-8	-40	5	1	-8	0	0	0	43	51
80	7E		126.92	49	-216	-171	19	-9	-45	5	1	-9	0	0	0	43	52
80	7E		126.8	49	-240	-190	19	-10	-50	5	1	-10	0	0	0	43	53
80	7E		126.68	49	-264	-209	19	-11	-55	5	1	-11	0	0	0	43	54
80	7E		126.56	49	-288	-228	19	-12	-60	5	1	-12	0	0	0	43	55
80	7E		126.44	49	-312	-247	19	-13	-65	5	1	-13	0	0	0	43	56
80	7E		126.32	49	-336	-266	19	-14	-70	5	1	-14	0	0	0	43	57
80	7E		126.2	49	-360	-285	19	-15	-75	5	1	-15	0	0	0	43	58
80	7E		126.08	49	-384	-304	19	-16	-80	5	1	-16	0	0	0	43	59
80	7D		125.96	49	-408	-323	19	-17	-85	5	1	-17	0	0	0	43	60
80	7D		125.84	49	-432	-342	19	-18	-90	5	1	-18	0	0	0	43	61
80	7D		125.72	49	-456	-361	19	-19	-95	5	1	-19	0	0	0	43	62
80	7D		125.6	49	-480	-380	19	-20	-100	5	1	-20	0	0	0	43	63
80	7D		125.48	49	-504	-399	19	-21	-105	5	1	-21	0	0	0	43	64
80	7D		125.36	48	-528	-418	19	-22	-110	5	1	-22	0	0	0	43	65
80	7D		125.24	48	-552	-437	19	-23	-115	5	1	-23	0	0	0	43	66
80	7D		125.12	48	-576	-456	19	-24	-120	5	1	-24	0	0	0	43	67
80	7D		125	48	-600	-475	19	-25	-125	5	1	-25	0	0	0	43	68
80	7C		124.88	48	-624	-494	19	-26	-130	5	1	-26	0	0	0	43	69
80	7C		124.76	48	-648	-513	19	-27	-135	5	1	-27	0	0	0	43	70
80	7C		124.64	48	-672	-532	19	-28	-140	5	1	-28	0	0	0	43	71
80	7C		124.52	48	-696	-551	19	-29	-145	5	1	-29	0	0	0	43	72
80	7C		124.4	48	-720	-570	19	-30	-150	5	1	-30	0	0	0	43	73
80	7C		124.28	48	-744	-589	19	-31	-155	5	1	-31	0	0	0	43	74
80	7C		124.16	48	-768	-608	19	-32	-160	5	1	-32	0	0	0	43	75
80	7C		124.04	48	-792	-627	19	-33	-165	5	1	-33	0	0	0	43	76
80	7B		123.92	48	-816	-646	19	-34	-170	5	1	-34	0	0	0	43	77
80	7B		123.8	48	-840	-665	19	-35	-175	5	1	-35	0	0	0	43	78
80	7B		123.68	47	-864	-684	19	-36	-180	5	1	-36	0	0	0	43	79
80	7B		123.56	47	-888	-703	19	-37	-185	5	1	-37	0	0	0	43	80
80	7B		123.44	47	-912	-722	19	-38	-190	5	1	-38	0	0	0	43	81
80	7B		123.32	47	-936	-741	19	-39	-195	5	1	-39	0	0	0	43	82
80	7B		123.2	47	-960	-760	19	-40	-200	5	1	-40	0	0	0	43	83
80	7B		123.08	47	-984	-779	19	-41	-205	5	1	-41	0	0	0	43	84
80	7A		122.96	47	-1008	-798	19	-42	-210	5	1	-42	0	0	0	43	85
80	7A		122.84	47	-1032	-817	19	-43	-215	5	1	-43	0	0	0	43	86

Tabla XII. Procesos precalculados (E)

Vo Hex. Param.	Vo Hex	Vo Decimal	%	P+I+D	P	KP	E	I	KI	t	EE	D	KD	DE	TC	TM
80	79	121.28	46	-1344	-1064	19	-56	-280	5	1	-56	0	0	0	43	99
80	79	121.16	46	-1368	-1083	19	-57	-285	5	1	-57	0	0	0	43	100
80	79	121.04	46	-1392	-1102	19	-58	-290	5	1	-58	0	0	0	43	101
80	78	120.92	46	-1416	-1121	19	-59	-295	5	1	-59	0	0	0	43	102
80	78	120.8	46	-1440	-1140	19	-60	-300	5	1	-60	0	0	0	43	103
80	78	120.68	46	-1464	-1159	19	-61	-305	5	1	-61	0	0	0	43	104
80	78	120.56	46	-1488	-1178	19	-62	-310	5	1	-62	0	0	0	43	105
80	78	120.44	46	-1512	-1197	19	-63	-315	5	1	-63	0	0	0	43	106
80	78	120.32	45	-1536	-1216	19	-64	-320	5	1	-64	0	0	0	43	107
80	78	120.2	45	-1560	-1235	19	-65	-325	5	1	-65	0	0	0	43	108
80	78	120.08	45	-1584	-1254	19	-66	-330	5	1	-66	0	0	0	43	109
80	77	119.96	45	-1608	-1273	19	-67	-335	5	1	-67	0	0	0	43	110
80	77	119.84	45	-1632	-1292	19	-68	-340	5	1	-68	0	0	0	43	111
80	77	119.72	45	-1656	-1311	19	-69	-345	5	1	-69	0	0	0	43	112
80	77	119.6	45	-1680	-1330	19	-70	-350	5	1	-70	0	0	0	43	113
80	77	119.48	45	-1704	-1349	19	-71	-355	5	1	-71	0	0	0	43	114
80	77	119.36	45	-1728	-1368	19	-72	-360	5	1	-72	0	0	0	43	115
80	77	119.24	45	-1752	-1387	19	-73	-365	5	1	-73	0	0	0	43	116
80	77	119.12	45	-1776	-1406	19	-74	-370	5	1	-74	0	0	0	43	117
80	77	119	45	-1800	-1425	19	-75	-375	5	1	-75	0	0	0	43	118
80	76	118.88	45	-1824	-1444	19	-76	-380	5	1	-76	0	0	0	43	119
80	76	118.76	45	-1848	-1463	19	-77	-385	5	1	-77	0	0	0	43	120
80	76	118.64	44	-1872	-1482	19	-78	-390	5	1	-78	0	0	0	43	121
80	76	118.52	44	-1896	-1501	19	-79	-395	5	1	-79	0	0	0	43	122
80	76	118.4	44	-1920	-1520	19	-80	-400	5	1	-80	0	0	0	43	123
80	76	118.28	44	-1944	-1539	19	-81	-405	5	1	-81	0	0	0	43	124
80	76	118.16	44	-1968	-1558	19	-82	-410	5	1	-82	0	0	0	43	125
80	76	118.04	44	-1992	-1577	19	-83	-415	5	1	-83	0	0	0	43	126
80	75	117.92	44	-2016	-1596	19	-84	-420	5	1	-84	0	0	0	43	127
80	75	117.8	44	-2040	-1615	19	-85	-425	5	1	-85	0	0	0	43	128
80	75	117.68	44	-2064	-1634	19	-86	-430	5	1	-86	0	0	0	43	129
80	75	117.56	44	-2088	-1653	19	-87	-435	5	1	-87	0	0	0	43	130
80	75	117.44	44	-2112	-1672	19	-88	-440	5	1	-88	0	0	0	43	131
80	75	117.32	44	-2136	-1691	19	-89	-445	5	1	-89	0	0	0	43	132
80	75	117.2	44	-2160	-1710	19	-90	-450	5	1	-90	0	0	0	43	133
80	75	117.08	44	-2184	-1729	19	-91	-455	5	1	-91	0	0	0	43	134
80	74	116.96	44	-2208	-1748	19	-92	-460	5	1	-92	0	0	0	43	135
80	74	116.84	43	-2232	-1767	19	-93	-465	5	1	-93	0	0	0	43	136
80	74	116.72	43	-2256	-1786	19	-94	-470	5	1	-94	0	0	0	43	137
80	74	116.6	43	-2280	-1805	19	-95	-475	5	1	-95	0	0	0	43	138
80	74	116.48	43	-2304	-1824	19	-96	-480	5	1	-96	0	0	0	43	139
80	74	116.36	43	-2328	-1843	19	-97	-485	5	1	-97	0	0	0	43	140
80	74	116.24	43	-2352	-1862	19	-98	-490	5	1	-98	0	0	0	43	141
80	74	116.12	43	-2376	-1881	19	-99	-495	5	1	-99	0	0	0	43	142

Tabla XIII. Procesos precalculados (F)

Vo Hex. Param.	Vo Hex	Vo Decimal	%	P+I+D	P	KP	E	I	KI	t	EE	D	KD	DE	TC	TM
80	72	114.56	42	-2688	-2128	19	-112	-560	5	1	-112	0	0	0	43	155
80	72	114.44	42	-2712	-2147	19	-113	-565	5	1	-113	0	0	0	43	156
80	72	114.32	42	-2736	-2166	19	-114	-570	5	1	-114	0	0	0	43	157
80	72	114.2	42	-2760	-2185	19	-115	-575	5	1	-115	0	0	0	43	158
80	72	114.08	42	-2784	-2204	19	-116	-580	5	1	-116	0	0	0	43	159
80	71	113.96	42	-2808	-2223	19	-117	-585	5	1	-117	0	0	0	43	160
80	71	113.84	42	-2832	-2242	19	-118	-590	5	1	-118	0	0	0	43	161
80	71	113.72	42	-2856	-2261	19	-119	-595	5	1	-119	0	0	0	43	162
80	71	113.6	42	-2880	-2280	19	-120	-600	5	1	-120	0	0	0	43	163
80	71	113.48	41	-2904	-2299	19	-121	-605	5	1	-121	0	0	0	43	164
80	71	113.36	41	-2928	-2318	19	-122	-610	5	1	-122	0	0	0	43	165
80	71	113.24	41	-2952	-2337	19	-123	-615	5	1	-123	0	0	0	43	166
80	71	113.12	41	-2976	-2356	19	-124	-620	5	1	-124	0	0	0	43	167
80	71	113	41	-3000	-2375	19	-125	-625	5	1	-125	0	0	0	43	168
80	70	112.88	41	-3024	-2394	19	-126	-630	5	1	-126	0	0	0	43	169
80	70	112.76	41	-3048	-2413	19	-127	-635	5	1	-127	0	0	0	43	170
80	70	112.64	41	-3072	-2432	19	-128	-640	5	1	-128	0	0	0	43	171
80	70	112.52	41	-3096	-2451	19	-129	-645	5	1	-129	0	0	0	43	172
80	70	112.4	41	-3120	-2470	19	-130	-650	5	1	-130	0	0	0	43	173
80	70	112.28	41	-3144	-2489	19	-131	-655	5	1	-131	0	0	0	43	174
80	70	112.16	41	-3168	-2508	19	-132	-660	5	1	-132	0	0	0	43	175
80	70	112.04	41	-3192	-2527	19	-133	-665	5	1	-133	0	0	0	43	176
80	6F	111.92	41	-3216	-2546	19	-134	-670	5	1	-134	0	0	0	43	177
80	6F	111.8	40	-3240	-2565	19	-135	-675	5	1	-135	0	0	0	43	178
80	6F	111.68	40	-3264	-2584	19	-136	-680	5	1	-136	0	0	0	43	179
80	6F	111.56	40	-3288	-2603	19	-137	-685	5	1	-137	0	0	0	43	180
80	6F	111.44	40	-3312	-2622	19	-138	-690	5	1	-138	0	0	0	43	181
80	6F	111.32	40	-3336	-2641	19	-139	-695	5	1	-139	0	0	0	43	182
80	6F	111.2	40	-3360	-2660	19	-140	-700	5	1	-140	0	0	0	43	183
80	6F	111.08	40	-3384	-2679	19	-141	-705	5	1	-141	0	0	0	43	184
6F	6E	110.96	40	-3408	-2698	19	-142	-710	5	1	-142	0	0	0	43	185
6F	6E	110.84	40	-3432	-2717	19	-143	-715	5	1	-143	0	0	0	43	186
6F	6E	110.72	40	-3456	-2736	19	-144	-720	5	1	-144	0	0	0	43	187
6F	6E	110.6	40	-3480	-2755	19	-145	-725	5	1	-145	0	0	0	43	188
6F	6E	110.48	40	-3504	-2774	19	-146	-730	5	1	-146	0	0	0	43	189
6F	6E	110.36	40	-3528	-2793	19	-147	-735	5	1	-147	0	0	0	43	190
6F	6E	110.24	40	-3552	-2812	19	-148	-740	5	1	-148	0	0	0	43	191
6F	6E	110.12	39	-3576	-2831	19	-149	-745	5	1	-149	0	0	0	43	192
6F	6E	110	39	-3600	-2850	19	-150	-750	5	1	-150	0	0	0	43	193
6F	6D	109.88	39	-3624	-2869	19	-151	-755	5	1	-151	0	0	0	43	194
6F	6D	109.76	39	-3648	-2888	19	-152	-760	5	1	-152	0	0	0	43	195
6F	6D	109.64	39	-3672	-2907	19	-153	-765	5	1	-153	0	0	0	43	196
6F	6D	109.52	39	-3696	-2926	19	-154	-770	5	1	-154	0	0	0	43	197
6F	6D	109.4	39	-3720	-2945	19	-155	-775	5	1	-155	0	0	0	43	198

Tabla XIV. Procesos precalculados (G)

Vo Hex. Param.	Vo Hex	Vo Decimal	%	P+I+D	P	KP	E	I	KI	t	EE	D	KD	DE	TC	TM
6F	6B	107.84	38	-4032	-3192	19	-168	-840	5	1	-168	0	0	0	43	211
6F	6B	107.72	38	-4056	-3211	19	-169	-845	5	1	-169	0	0	0	43	212
6F	6B	107.6	38	-4080	-3230	19	-170	-850	5	1	-170	0	0	0	43	213
6F	6B	107.72	38	-4056	-3211	19	-169	-845	5	1	-169	0	0	0	43	212
6F	6B	107.84	38	-4032	-3192	19	-168	-840	5	1	-168	0	0	0	43	211
6F	6B	107.96	38	-4008	-3173	19	-167	-835	5	1	-167	0	0	0	43	210
6F	6C	108.08	38	-3984	-3154	19	-166	-830	5	1	-166	0	0	0	43	209
6F	6C	108.2	38	-3960	-3135	19	-165	-825	5	1	-165	0	0	0	43	208
6F	6C	108.32	38	-3936	-3116	19	-164	-820	5	1	-164	0	0	0	43	207
6F	6C	108.44	38	-3912	-3097	19	-163	-815	5	1	-163	0	0	0	43	206
6F	6C	108.56	39	-3888	-3078	19	-162	-810	5	1	-162	0	0	0	43	205
6F	6C	108.68	39	-3864	-3059	19	-161	-805	5	1	-161	0	0	0	43	204
6F	6C	108.8	39	-3840	-3040	19	-160	-800	5	1	-160	0	0	0	43	203
6F	6C	108.92	39	-3816	-3021	19	-159	-795	5	1	-159	0	0	0	43	202
6F	6D	109.04	39	-3792	-3002	19	-158	-790	5	1	-158	0	0	0	43	201
6F	6D	109.16	39	-3768	-2983	19	-157	-785	5	1	-157	0	0	0	43	200
6F	6D	109.28	39	-3744	-2964	19	-156	-780	5	1	-156	0	0	0	43	199
6F	6D	109.4	39	-3720	-2945	19	-155	-775	5	1	-155	0	0	0	43	198
6F	6D	109.52	39	-3696	-2926	19	-154	-770	5	1	-154	0	0	0	43	197
6F	6D	109.64	39	-3672	-2907	19	-153	-765	5	1	-153	0	0	0	43	196
6F	6D	109.76	39	-3648	-2888	19	-152	-760	5	1	-152	0	0	0	43	195
6F	6D	109.88	39	-3624	-2869	19	-151	-755	5	1	-151	0	0	0	43	194
6F	6E	110	39	-3600	-2850	19	-150	-750	5	1	-150	0	0	0	43	193
6F	6E	110.12	39	-3576	-2831	19	-149	-745	5	1	-149	0	0	0	43	192
6F	6E	110.24	40	-3552	-2812	19	-148	-740	5	1	-148	0	0	0	43	191
6F	6E	110.36	40	-3528	-2793	19	-147	-735	5	1	-147	0	0	0	43	190
6F	6E	110.48	40	-3504	-2774	19	-146	-730	5	1	-146	0	0	0	43	189
6F	6E	110.6	40	-3480	-2755	19	-145	-725	5	1	-145	0	0	0	43	188
6F	6E	110.72	40	-3456	-2736	19	-144	-720	5	1	-144	0	0	0	43	187
6F	6E	110.84	40	-3432	-2717	19	-143	-715	5	1	-143	0	0	0	43	186
6F	6E	110.96	40	-3408	-2698	19	-142	-710	5	1	-142	0	0	0	43	185
80	6F	111.08	40	-3384	-2679	19	-141	-705	5	1	-141	0	0	0	43	184
80	6F	111.2	40	-3360	-2660	19	-140	-700	5	1	-140	0	0	0	43	183
80	6F	111.32	40	-3336	-2641	19	-139	-695	5	1	-139	0	0	0	43	182
80	6F	111.44	40	-3312	-2622	19	-138	-690	5	1	-138	0	0	0	43	181
80	6F	111.56	40	-3288	-2603	19	-137	-685	5	1	-137	0	0	0	43	180
80	6F	111.68	40	-3264	-2584	19	-136	-680	5	1	-136	0	0	0	43	179
80	6F	111.8	40	-3240	-2565	19	-135	-675	5	1	-135	0	0	0	43	178
80	6F	111.92	41	-3216	-2546	19	-134	-670	5	1	-134	0	0	0	43	177
80	70	112.04	41	-3192	-2527	19	-133	-665	5	1	-133	0	0	0	43	176
80	70	112.16	41	-3168	-2508	19	-132	-660	5	1	-132	0	0	0	43	175
80	70	112.28	41	-3144	-2489	19	-131	-655	5	1	-131	0	0	0	43	174
80	70	112.4	41	-3120	-2470	19	-130	-650	5	1	-130	0	0	0	43	173
80	70	112.52	41	-3096	-2451	19	-129	-645	5	1	-129	0	0	0	43	172

CONCLUSIONES

- 1 Se puede realizar el diseño de un sistema que por medio de la programación de un microprocesador pueda controlar un proceso y además pueda configurarse y visualizarse desde una computadora personal.
- 2 La aplicación de sistemas con microprocesadores es inmenso, ya que dentro del diseño de la programación se abarcaron temas como: lectura de variables físicas, toma de decisiones, manipulaciones aritméticas (sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, sumas acumuladas, manipulación de signos), control de dispositivos externos. Quedando a la imaginación del programador el límite en aplicaciones.
- 3 La utilización del lenguaje de programación Visual C ++, aunque complejo al inicio, luego se convierte en una herramienta poderosa con la cual se puede abarcar todos los rangos de programación además de poder tener aplicaciones reutilizables.
- 4 La utilización de componentes electrónicos comunes presenta la ventaja de realizar este desarrollo sin depender de equipos especiales y pueden utilizarse computadoras obsoletas para uso de oficina y emplearlas para control dedicado.
- 5 Al igual que cualquier controlador PID, este controlador DDC permite realizar tareas de control de variables físicas sin intervención continua del operador, permitiéndole a éste tomar actividades de supervisión o administrativas.

- 6 La capacidad de visualizar al mismo tiempo condiciones de causa efecto le proporcionan a este sistema una gran ayuda al operador en concepto de entender mejor el proceso de control de variables a través de PIDs.

RECOMENDACIONES

- 1 La implementación de este controlador DDC esta enfocada principalmente hacia empresas o fabricas que inicien operaciones y que sus procesos no sean complejos, en las que se pueda identificar un lazo de control único. Pero, al mismo tiempo inician operaciones enfocadas desde el principio a eficiencias en producción, control de calidad del producto, etc, pero, necesiten mantener bajos sus costos de inversión en equipo.
- 2 La aplicación de este sistema puede quedar enfocado hacia procesos especiales donde se necesiten programaciones personalizadas, esto debido a la gran cantidad de equipos de marcas comerciales reconocidas en el mercado contra las cuales no se puede competir en relación a costo/desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Creus, Antonio. **Instrumentación industrial**
Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México, D.F.
5ta. Edición. 1995.
2. Distefano, Joseph y otros. **Retroalimentación y sistemas de control**
McGraw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia
2da. Edición. 1992.
3. Fink, Donald G. **Manual de ingeniería eléctrica**
McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V. México, D.F.
13va. Edición. 1995.
4. Gaonkar, Ramesh. **The Z80 microprocesor: architecture, interfacing, programming and design.** Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA
2da. Edición. 1993.
5. Kluglinski, David y otros. **Programming Microsoft Visual C++**
Microsoft Press. Redmond, Washington, USA
5ta. Edición. 1998.
6. Maloney, Timothy J. **Electrónica industrial moderna**
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México.
3ra. Edición. 1997.
7. Mandado, E. **Diseño de sistemas digitales con microprocesadores**
Marcombo, S.A. Barcelona, España. 1983.

8. Perry, Robert H. **Manual del ingeniero químico**
McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V. México, D.F.
6ta. Edición. 1997.

9. Smith, Carlos; Corripio Armando. **Control automático de procesos.**
Editorial Limusa S.A. de C.V. México, D.F. 1995.

10. Tocci, Ronald J. **Sistemas digitales**
Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México.
5ta. Edición. 1993.

11. Tokheim, Roger L. **Fundamentos de los microprocesadores**
McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.
México, D.F. 2da. Edición. 1985.