

El PLC como equipo base en la automatización de procesos

Introducción

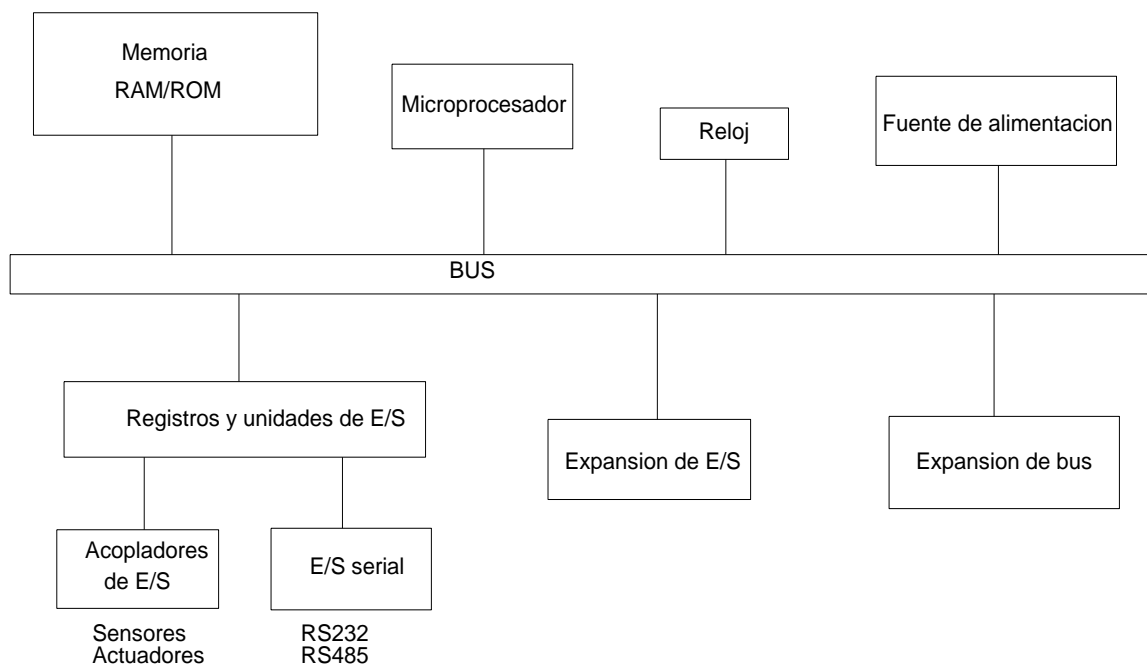
Para la solución de los diferentes problemas de automatización que se presentan en la práctica existen diferentes alternativas, de las cuales una de las más utilizadas es la que tiene como base a los PLC's ya sea en forma independiente o vinculados a sistemas más complejos que podrán incluir aplicaciones SCADA, redes de comunicación, etc. Esto es así por su probada confiabilidad y su resistencia a ambientes hostiles, tal como los que se encuentran en las industrias de todo tipo.

Es por tanto necesario, si se quiere desarrollar cualquier automatismo con un mínimo de idoneidad, tener un conocimiento más o menos claro de las características, la forma de operar, las limitaciones, etc., de los PLC's, de forma tal que ante un problema dado se puedan determinar las características de los equipos a utilizar.

1. Estructura del PLC

1.1 Configuración de Hardware del PLC

Un esquema de bloques básico de la configuración del hardware de un PLC típico puede ser el siguiente:

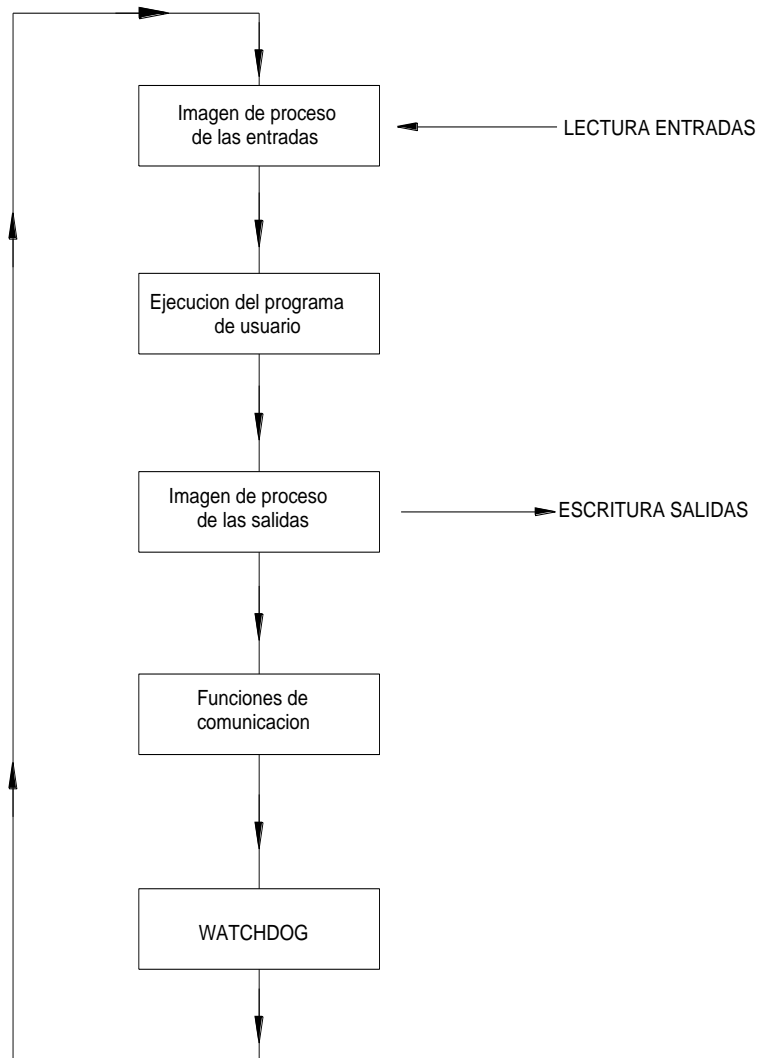



Microprocesador (CPU)

La CPU es el corazón del autómata programable. Es la encargada de ejecutar el programa de usuario mediante el sistema operativo (es decir, el programa de usuario es interpretado por el sistema operativo). Sus funciones son:

- Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda un determinado tiempo máximo (tiempo de ciclo máximo). A esta función se le suele denominar Watchdog (perro guardián).
- Ejecutar el programa de usuario.
- Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas obtenida al final del ciclo de ejecución del programa de usuario.
- Chequeo del sistema.

Para ello el PLC va a poseer un *ciclo de trabajo*, que ejecutará de forma continua:





El PLC va a ejecutar nuestro programa de usuario en un tiempo determinado, el cual va a depender sobre todo de la longitud del programa. Esto es debido a que cada instrucción tarda un tiempo determinado en ejecutarse, por lo que en procesos rápidos será un factor crítico a tener en cuenta.

En un sistema de control mediante PLC tendremos los siguientes tiempos:

1. Retardo de entrada.
2. Vigilancia y exploración de las entradas.
3. Ejecución del programa de usuario.
4. Transmisión de las salidas.
5. Retardo en salidas.

Los puntos 2,3 y 4 sumados dan como total el tiempo de ciclo del autómata. Tras este ciclo es cuando se modifican las salidas, por lo que si varían durante la ejecución del programa tomarán como valor el último que se haya asignado.

Esto es así debido a que no se manejan directamente las entradas y las salidas, sino una imagen en memoria de las mismas que se adquiere al comienzo del ciclo (2) y se modifica al final de éste (retardo).

El tiempo total que emplea el PLC en recorrer este ciclo se lo denomina *tiempo de ciclo* o *tiempo de scan*, y precisamente el *watchdog* es quien se encarga de verificar que el mismo no supere determinados límites, ya que si esto es así se deba probablemente a alguna falla (la CPU se “colgó”).

Para evaluar la capacidad de procesamiento del PLC se suele medir el tiempo que demora este en procesar las instrucciones, especificando entonces el fabricante la velocidad de trabajo en ms/instrucción binaria o bien en ms/1000 instrucciones, con lo cual se puede en función del programa desarrollado determinar aproximadamente el tiempo de ciclo del equipo.

Imagen del proceso

El PLC al ejecutar el programa de usuario, básicamente determina cual es el estado actual de las entradas, la información que recibe a través de las interfases de comunicación, las señales desde los módulos especiales, etc. y en función de estos datos y de la lógica que le ha sido programada cambia los estados de las salidas, envía información a través de las interfases de comunicación, etc., es decir controla el proceso.

Ahora bien, todo este proceso de ejecución del programa necesita, como ha quedado dicho, de un lapso de tiempo determinado, lo cual plantea la siguiente pregunta, ¿qué pasa si durante dicho lapso de tiempo cambia el estado de una entrada o salida?, y la respuesta es que dicho cambio puede generar problemas en la lógica del programa.

Imaginemos que el estado de una entrada determinada se utiliza en mas de un punto del programa de usuario, entonces si la entrada pasó de abierta a cerrada en el medio de estos dos puntos, el PLC tomará primero una decisión en función de la entrada abierta y luego otra en función de la entrada cerrada, evidentemente tal situación puede generar un conflicto en la lógica del sistema, con la consecuencia de que el proceso podría verse perjudicado.



Es por esta razón que en los PLC se utiliza el criterio de *Imagen del Proceso*, el que básicamente consiste en lo siguiente:

- a) Se leen los estados de las entradas
- b) Dichos estados se almacenan en una zona de memoria prefijada (Imagen de proceso de las entradas), es decir se “congela” una imagen del estado de dichas entradas.
- c) Se ejecuta el programa de usuario el cual lee el estado de entradas desde esta memoria intermedia y no directamente de las entradas, es decir lee la imagen.
- d) En función de la lógica programada se escriben los estados de las salidas en otra zona de memoria prefijada (Imagen de proceso de las salidas), es decir se “congela” una imagen del estado que deberán tener las salidas.
- e) Finalizado el recorrido del programa de usuario se escribe la imagen de proceso de las salidas en las salidas físicas del PLC.

Se consigue de esta forma entonces evitar las ambigüedades que pudieran surgir por el cambio de estado de entradas y/o salidas durante la ejecución del programa.

Memoria

Dentro del PLC y directamente vinculada a la CPU vamos a disponer de un área de memoria, la cual emplearemos para diversas funciones:

- Memoria del programa de usuario: aquí introduciremos el programa que el autómata va a ejecutar cíclicamente.
- Memoria de la tabla de datos: se suele subdividir en zonas según el tipo de datos (como marcas de memoria, temporizadores, contadores, imagen del proceso, etc.).
- Memoria del sistema: aquí se encuentra el programa en código máquina que monitoriza el sistema (sistema operativo o firmware). Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador/microcontrolador que posea el equipo.
- Memoria de almacenamiento: se trata de memoria externa que empleamos para almacenar el programa de usuario, y en ciertos casos parte de la memoria de la tabla de datos. Suele ser de uno de los siguientes tipos: EPROM, EEPROM, o FLASH.

Cada autómata divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante



Unidades de E/S (Entrada y salida de datos)

Generalmente vamos a disponer de dos tipos de E/S:

- Digitales.
- Analógicas.

Las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada, es decir o no conducen señal alguna o poseen un nivel mínimo de tensión, umbral a partir del cual conducen (indicando en tal caso un 1 lógico). Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario, los niveles de tensión usuales son de 24 ó 48 V (CC o CA) , también se utilizan frecuentemente tensiones de red (110 o 230 V de CA) y mas raramente niveles lógicos (5V).

Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante, los valores más comúnmente utilizados son 0-5V, 0-10V, 4-20 mA. , o bien en el rango de los mV para las entradas usadas para termocuplas y/o celdas de carga. Se basan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU (ópticamente o por etapa de potencia). Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (8/16 bits) dentro del programa de usuario.

Las E/S son leídas y escritas dependiendo del modelo y del fabricante de dos maneras, es decir, pueden estar incluidas sus imágenes dentro del área de memoria correspondiente a la imagen del proceso, o ser manejadas directamente a través de instrucciones específicas de E/S, este último criterio se reserva en general para entradas asignadas a alarmas o a los llamados contadores rápidos.

Características importantes de las Entradas y Salidas del PLC

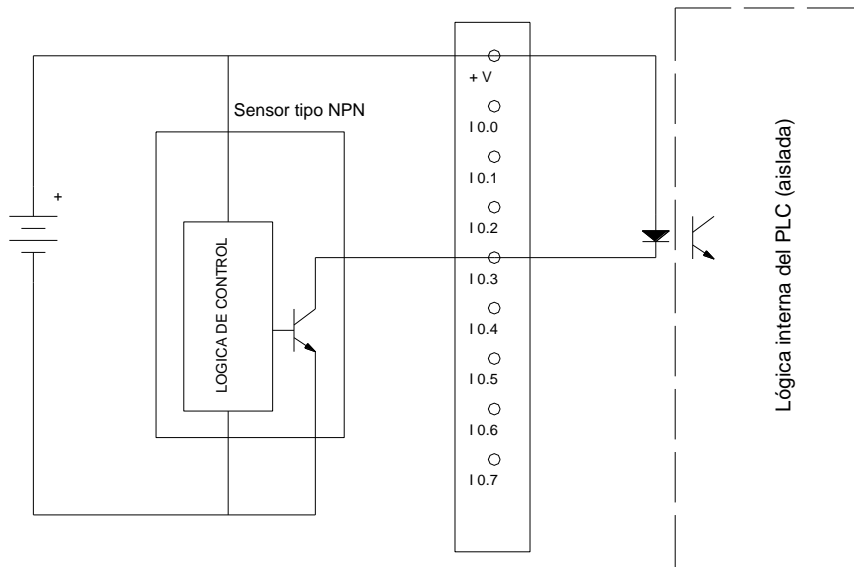
Como es obvio para poder especificar las características necesarias de las E/S del PLC se debe determinar claramente cuáles serán los elementos que se conectarán a las mismas, para de esa forma definir rangos de tensiones, tipo de E/S, etc.

Entradas digitales

Desde el punto de vista de su utilización y conexionado las entradas digitales de los PLC pueden ser de 2 tipos:

- **Entradas tipo fuente (source)**

En este tipo de entradas cuando el sensor se activa la corriente fluye desde el borne de entrada hacia el sensor y de este al borne común. Este tipo de entrada se utiliza cuando los sensores estarán alimentados por una fuente común, y en el caso de usar sensores con salida a semiconductor estos son del tipo NPN.

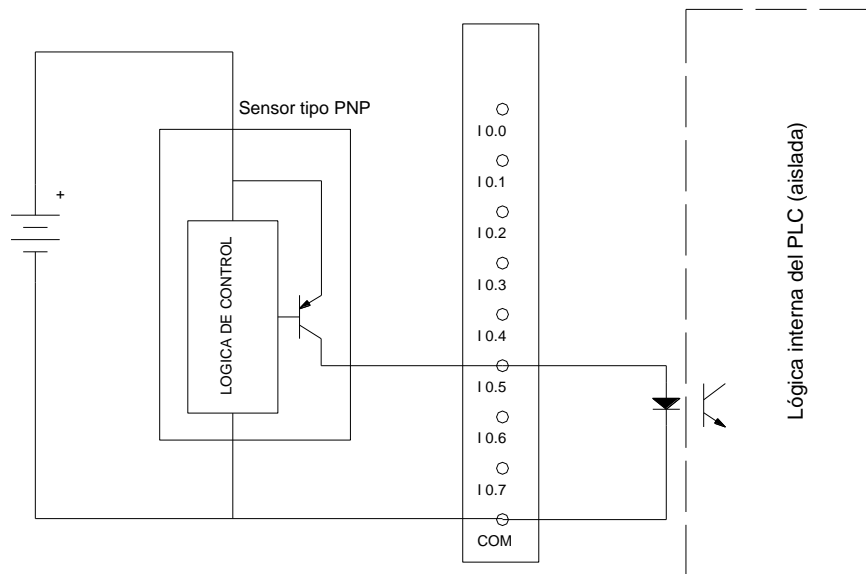


Esquema de entrada tipo fuente y sensor NPN

- Entradas tipo sumidero (sinking)


En este tipo de entradas cuando el sensor se activa la corriente fluye desde el borne de salida del sensor hacia el borne de entrada y de este hacia el borne común. Este tipo de entrada se utiliza cuando exista la posibilidad de que los sensores estarán alimentados por fuentes diferentes, y en el caso de usar sensores con salida a semiconductor estos son del tipo PNP.

Este tipo de entradas es el mas utilizado ya que es el que me da mayor versatilidad y además la gran mayoría de los sensores disponibles comercialmente son del tipo PNP.



Esquema de entrada tipo sumidero y sensor PNP

En el caso de que las entradas sean de C.A. es valida la clasificación anterior con la diferencia que el diodo del optoacoplador es doble para permitir la circulación de corriente en ambos sentidos (o bien se dota a la entrada de un rectificador).



En muchos módulos de entradas estas se ordenan en grupos, por ejemplo en un módulo de 16 entradas en 2 grupos de 8 entradas, estos grupos se caracterizan por tener un borne de alimentación común (Positivo o Negativo según sea tipo fuente o sumidero), esta agrupación me permite organizar las entradas de forma tal que eventualmente pueda usar para cada grupo una fuente de alimentación distinta.

Histéresis y Retardo de las entradas

Para garantizar un funcionamiento fiable del sistema de automatización se debe tener respecto de las señales la certeza del efectivo estado de estas, y en caso de que el valor de una entrada cambie de estado, ya sea de 0 a 1 ó bien de 1 a 0, este cambio se deba a una variación de la señal y no a factores ajenos como el ruido o el rebote de contactos. Para asegurar esto las entradas digitales de los PLC's utilizan dos estrategias bien conocidas:

- **Histéresis:** es decir niveles de umbral distintos para el reconocimiento del estado "0" y el estado "1", por ejemplo, un PLC con entradas de 24V reconocerá un cambio de 0 a 1 si la tensión en la entrada es ≥ 15 V, es decir el equipo solo tomará como efectivamente habilitada la entrada si se supera ese valor; el mismo PLC reconocerá un cambio de 1 a 0 si y solo si la tensión en la entrada digital es menor de 8V. En consecuencia y como se observa tengo umbrales diferentes según en qué sentido sea el cambio de estado.
- **Retardo en las entradas:** es decir la señal en la entrada debe estar presente un tiempo mayor a un valor prefijado, por ejemplo 20 mS, de esta manera tengo cierta certeza que el valor presente en la entrada efectivamente responde a un cambio de estado de la señal, y no a razones espurias como el ruido o el rebote de contactos. Para tener mayor versatilidad en función de cual sea el tipo y la velocidad del proceso en muchos equipos este tiempo de retardo es parametrizable.

Salidas Digitales

Desde el punto de vista constructivo las salidas digitales pueden ser de 2 tipos:

- **Salidas a relé (Dry Contact)**

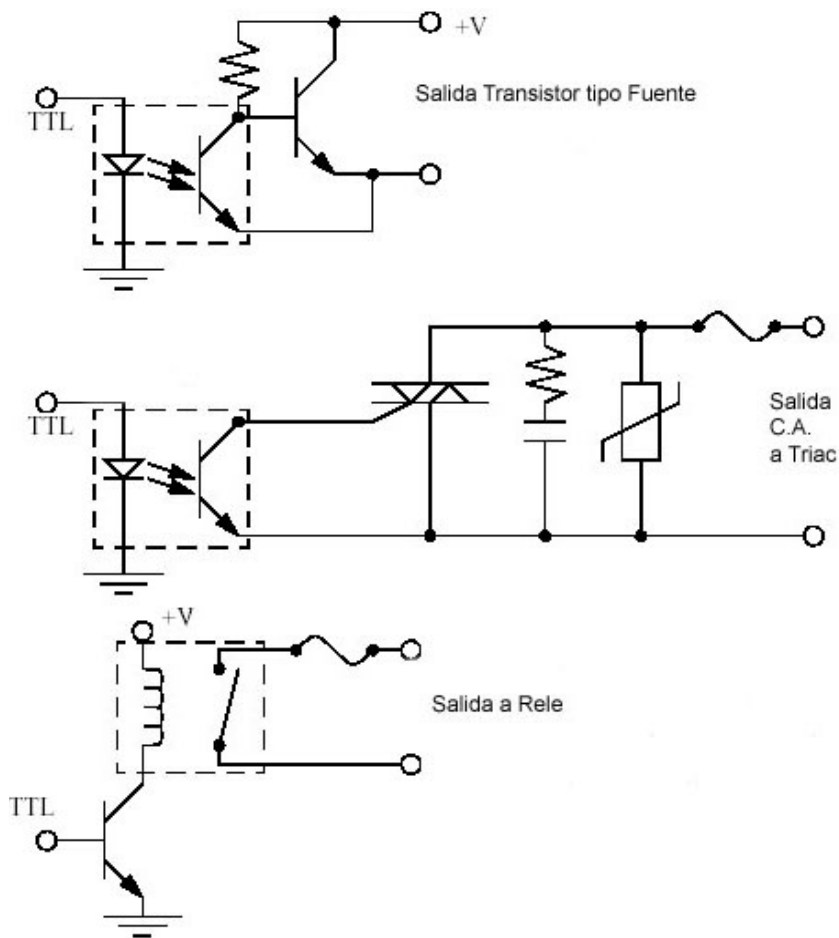
Se utiliza un relé separado para cada salida, es decir para cada salida estarán disponibles los dos bornes del contacto del relé respectivo, esto permite trabajar con tensiones distintas para cada una de ellas (C.A., C.C. o ambas en cualquier nivel de tensión), así como garantizar el máximo nivel de separación entre salidas (no hay bornes comunes). La velocidad de respuesta suele ser ≥ 10 ms, por otra parte, este sistema es el menos sensible a variaciones de tensión o transitorios en las salidas.

La corriente admisible por salida puede ser tan alta como 8 ó 10 A.

- **Salidas a semiconductor (Transistor o Triac)**

Se suministra al módulo de salida una tensión y este se encarga de conmutar esta tensión a cada una de las salidas usando circuitos de estado sólido, TRIACS para las salidas de corriente alterna y Transistores para las salidas de corriente continua. Normalmente las salidas son del tipo fuente y el nivel de

corriente de salida suele ser ≤ 2 (típico 1 A), la velocidad de conmutación es típicamente ≤ 1 ms. En el caso de salidas de C.A. puede existir un circuito de detección de cruce por cero para la apertura de la misma.

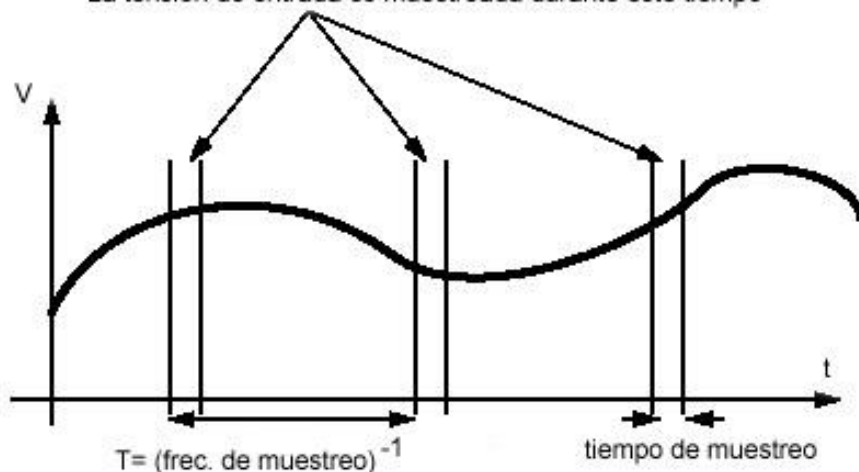


Esquemas típicos de salidas PLC

Entradas analógicas

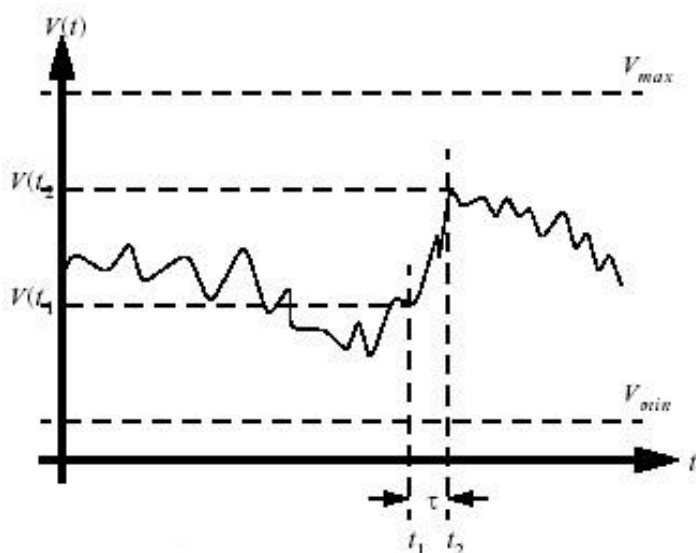
Para ingresar un valor analógico dentro del PLC y poder utilizarlo en el programa de usuario este debe ser convertido en un valor digital (que es el tipo de datos que maneja el microprocesador), esta conversión se realiza con los llamados conversores analógico/digitales (A/D converters); estos conversores trabajan por muestreo, leyendo la entrada analógica a intervalos regulares en el llamado periodo de muestreo (*Sampling Period*) durante un periodo de tiempo determinado o tiempo de muestreo (*Sampling Time*) tal como se puede observar en la figura siguiente

La tensión de entrada es muestreada durante este tiempo



Otro parámetro importante a la hora de definir las características de las entradas analógicas es la llamada resolución del convertor, que se define como el número de bits que se utilizará para almacenar el valor digitalizado, que me determina el mínimo salto en la magnitud de entrada que el sistema será capaz de detectar, entonces si por ejemplo el convertor tiene una resolución de 12 bits el sistema será capaz de discriminar con una resolución de $1/4096$ valores de entrada.

Un dibujo mas realista de la entrada de un valor analógico podría ser:



Donde se representa el valor de tensión en la entrada del convertor en función del tiempo.

$V(t)$ = Valor actual del voltaje de entrada

Tiempo de muestreo del convertor A/D

Este gráfico muestra el ruido presente en la señal y una variación significativa en el valor de entrada durante el tiempo de muestreo, el valor actual de la entrada estará en algún punto entre el inicial y final de dicho tiempo de muestreo.

Los valores V_{max} y V_{min} son función del hardware utilizado, y utilizando los valores definidos en la gráfica podemos establecer:

$$R = 2^N \quad (1)$$

$$V_{error} = \left(\frac{V_{max} - V_{min}}{2R} \right) \quad (2)$$

$$V_I = INT \left[\left(\frac{V_{in} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) (R - 1) \right] \quad (3)$$

$$V_C = \left(\frac{V_I}{(R - 1)} \right) (V_{max} - V_{min}) + V_{min} \quad (4)$$

Donde:

- R = resolución del convertidor
- V_I = Valor entero que representa el valor de entrada
- V_C = Valor de entrada calculado a partir del valor entero
- V_{error} = Error de cuantificación máximo

Un simple ejemplo puede aclarar aún más la cuestión:

Supongamos que se tiene una entrada analógica con un convertidor de 10 bits, que tiene un rango de valores de entrada de 0 - 10 V y que se aplica a dicha entrada una señal de 4,563 V, calculemos usando las ecuaciones anteriores las características de la misma:

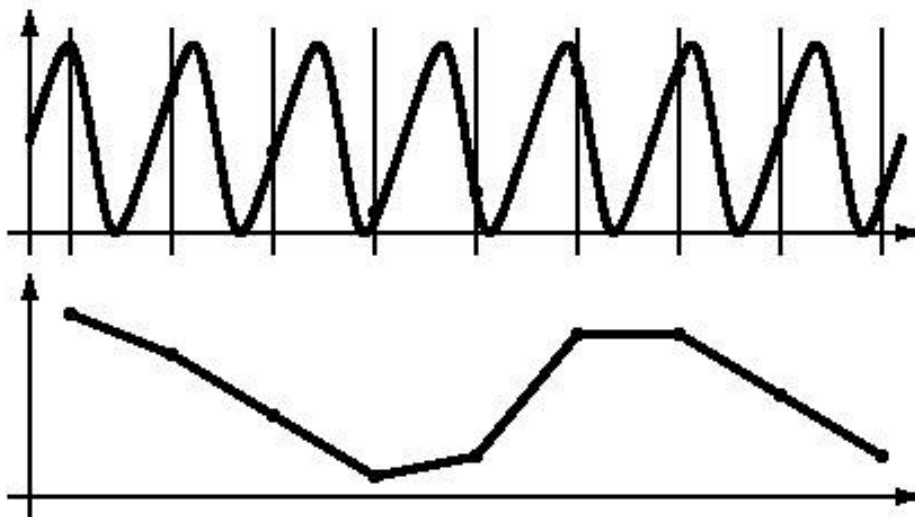
$$R = 2^{10} = 1024 \quad (1)$$

$$V_{error} = \left(\frac{10V - 0}{2 \times 1024} \right) = 0,0048V \quad (2)$$

$$V_I = INT \left[\left(\frac{4,563V - 0V}{10V - 0V} \right) (1024 - 1) \right] = 466 \quad (3)$$

$$V_C = \left(\frac{466}{(1024 - 1)} \right) (10V - 0V) + 0V = 4,555V \quad (4)$$

Otra posible fuente de error, aparte del error de cuantificación ya mencionado, tiene que ver con la frecuencia de muestreo de la señal, es decir si el valor de la señal a la entrada cambia muy rápidamente se pueden obtener falsas lecturas de la misma, como se observa en la figura siguiente:




En el gráfico superior la señal de entrada recorre 7 ciclos y se muestrea la misma 9 veces, en el gráfico inferior se indican los valores leídos.

Es evidente que el resultado obtenido no refleja claramente la señal de entrada y sus variaciones (a este fenómeno se lo llama "aliasing").

Si este fenómeno ocurre en una aplicación real el proceso podría comportarse erráticamente, para evitar esto se estila que la frecuencia de muestreo sea ≥ 4 veces la frecuencia del sistema.

Existen además otras cuestiones de índole práctica a la hora de utilizar entradas analógicas en los PLC:

- Ruido: Debido a que la ventana de muestreo suele ser pequeña, el ruido en la señal de entrada agrega un componente importante en la lectura, por ejemplo, un transitorio de magnitud puede resultar en un incremento importante en el valor leído. Por esta razón es normal utilizar cables blindados para la señal, o bien ciertos módulos de entrada incorporan filtros configurables por el usuario.
- Retardo: Cuando se requiere el valor de la señal de entrada transcurre un intervalo de tiempo entre dicho requerimiento y la obtención de la muestra de la señal.
- Multiplexado: En el caso de tener varias entradas analógicas en el PLC se utiliza frecuentemente una técnica de multiplexado para emplear un único convertor A/D para varias entradas, esto hace que la frecuencia de muestreo se reparta entre las entradas con lo que esta se reduce en forma proporcional al número de ellas.
- Acondicionamiento de señal: Los módulos de entradas analógicas tienen en sus etapas de entrada elementos adecuados para acomodar las señales a los valores requeridos por el convertor A/D, de forma que a la entrada pueden tener valores de tensión, corriente ó resistencia diversos, pero siempre el rango de valores que le llega al convertor A/D es el correcto.
- Impedancia de entrada: Este valor se debe tener en cuenta, de forma de considerar si el circuito exterior y por ende la lectura del valor analógico se verá afectada.
- Entrada simple o diferencial: En las entradas simples todas las entradas del módulo tienen un punto común, en cambio en las entradas



diferenciales no necesito que el valor de entrada este referido a masa, según sea el tipo de entrada los circuitos de conexión variarán, por otro lado, el comportamiento frente a fenómenos como el ruido será diferente (las entradas simples son más propensas a verse afectadas por el ruido).

Salidas analógicas

Las salidas analógicas son mucho más simples que las entradas, para obtener un valor determinado a la salida se envía un valor entero al convertor D/A y este fija el valor respectivo de tensión a la salida, el proceso es muy rápido y no existen los problemas de frecuencia de muestreo que experimentan las entradas.

De todas maneras, las salidas si tienen los problemas de cuantificación que tienen las entradas, por analogía con las entradas tendremos:

$$R = 2^N \quad (5)$$

$$V_{error} = \left(\frac{V_{max} - V_{min}}{2R} \right) \quad (6)$$

$$V_I = INT \left[\left(\frac{V_{deseado} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \right) R \right] \quad (7)$$

$$V_{salida} = \left(\frac{V_I}{R} \right) (V_{max} - V_{min}) + V_{min} \quad (8)$$

Interfaces

Todo autómata, salvo casos excepcionales, posee la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos (como una PC).

Lo normal es que posea una E/S serie que normalmente responde a la especificación de hardware RS-232 / RS-485, o bien una interface Ethernet.

A través de esta línea se pueden manejar todas las características internas del PLC, incluida la programación del mismo, y suele emplearse para monitorización del proceso o bien para la transferencia de datos desde y hacia otros equipos del sistema de automatización.

Configuración externa del PLC

Si bien todos los PLC dispondrán en mayor o menor medida de los elementos antedichos, existirán dos formas básicas de estructurar físicamente los mismos, lo que da como consecuencia posibilidades distintas en los equipos utilizados, podemos distinguir entonces:



- **PLC integrales o compactos**

Se caracterizan por tener todos los elementos (CPU, memoria, entradas, salidas, etc.) en un solo bloque, en general no poseen capacidades de ampliación o estas son muy limitadas por lo que se emplean habitualmente para pequeñas automatizaciones, donde se obtiene una relación costo-beneficio muy razonable.

- **PLC modulares**

Como su nombre lo indica el PLC se configura a través de módulos interconectados, los cuales cumplen cada una de las funciones necesarias, tendremos entonces módulos de CPU (estos incorporan generalmente la memoria y las interfases), módulos de entradas, módulos de salidas, módulos de comunicación, etc.

Con este tipo de estructura se comprenderá que se optimiza la selección de los recursos necesarios, ya que se agregan aquellos elementos que son absolutamente necesarios.

Este tipo de PLC posee normalmente una capacidad de procesamiento y de memoria superior a la correspondiente a los PLC's integrales y en general se los suele caracterizar por ello junto con la cantidad máxima de módulos que admiten.