

CAPITULO VI ADQUISICION Y DISTRIBUCION DE DATOS

Los seres humanos procesamos nuestra información numérica utilizando el sistema decimal. Sin embargo, la tecnología electrónica emplea un camino diferente para manejar a muy alta velocidad y eficiencia, las mismas cantidades. El sistema binario y los circuitos digitales constituyen el método más apropiado para manejar información numérica y mediante un procedimiento inverso, al final se efectúa una conversación de binario a decimal.

Algo similar ocurre, ahora, con el tratamiento de los fenómenos naturales. Se vive en un mundo cuyas dimensiones varían de manera *continua o análoga* a lo largo del tiempo. La temperatura, presión, voltaje, corriente, etc., son parámetros físicos que a través del tiempo toman una infinita cantidad de valores.

La mayor parte de los fenómenos del mundo real están compuestos de señales análogas o continuas. En las primeras épocas del desarrollo de la electrónica, estas señales se procesaban, también, de manera análoga. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de instrumentación análoga existente, procesar los fenómenos naturales de manera análoga, en la mayoría de los casos, presenta serias dificultades. Nuevamente, la tecnología digital aparece como la solución ideal, ya que las operaciones complejas se realizan con mayor facilidad utilizando circuitos digitales que análogos.

En general, para procesar información del mundo real se debe estar dotado de dos tipos de interfaces o elementos de entrada y salida; uno que convierta una señal de analógica a digital (interface de entrada) y otro para el proceso inverso, es decir, convertir una señal digital en analógica (interface de salida). Esta situación se ilustrará en la siguiente figura.

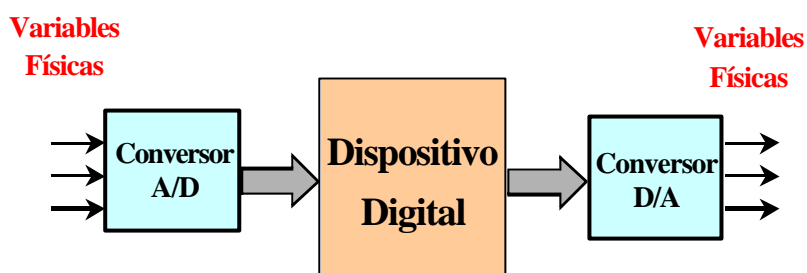


Figura Nro. 6.1 Tratamiento de Señales Analógicas

6.1 Conversión Analógica/Digital

Los conversores analógicos/digital son elementos que transforman una variable analógica en información digital en un código determinado, con una precisión y resolución dada. Es decir, dado un número finito de n de bits que se obtienen del conversor, el código de salida deberá ser siempre el correspondiente al valor más cercano que pueda expresarse mediante los n bits. La conversión digital efectúa una cuantificación de la entrada analógica, acotándola entre dos niveles consecutivos cuya distancia es precisamente el grado de resolución obtenido.

6.1.1 Teoría del Muestreo

La forma más eficaz que un circuito o un computador puedan ver lo que ocurre alrededor de su medio ambiente, es a través de la toma de sucesivas muestras a lo largo del tiempo. Si un circuito digital se dedica exclusivamente a tomar muestras de las señales externas, no deja espacio para otro tipo de operaciones.

Un conversor análogo/digital requiere un tiempo finito para realizar la conversión. Por ejemplo, si el conversor realiza una conversión de un nivel análogo a una palabra digital en 1 milisegundo, la máxima velocidad con que podrá muestrear el exterior es de 1000 conversiones por segundo.

A este respecto, la pregunta inmediata y obvia es: ¿cuál es la mínima frecuencia de muestreo de una señal análoga para que la conversión digital sea representativa?. En la Figura Nro. 6.2 (a) se muestra una señal análoga de frecuencia igual a 10 Hz (10 ciclos por segundo). En la Figura Nro. 6.2 (b) se puede observar los niveles de voltaje que corresponderían a dos puntos de muestreo. Por último en la Figura Nro. 6.2 (c) se ilustra la forma de onda que entregaría un conversor análogo/digital al reconstruir o convertir la señal análoga los dos puntos obtenidos durante el muestreo. Como se puede ver esta señal resulta ser muy diferente a la original.

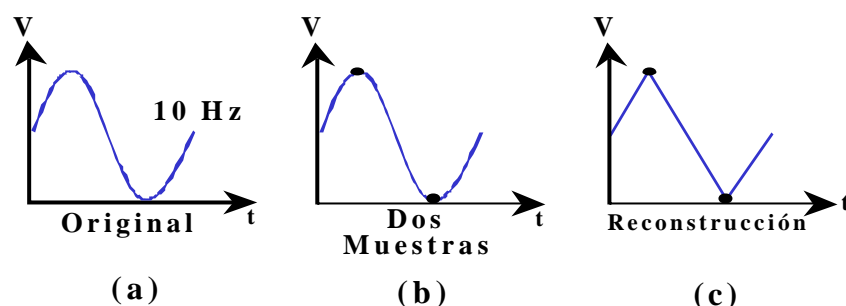


Figura Nro. 6. 2 Muestreo Mínimo

En la siguiente figura en (a) y (b) se presenta la misma señal de entrada, pero esta vez muestreada en ocho puntos diferentes. Por tanto en (c), se observa que la conversión entrega una señal con mayor semejanza a al original.

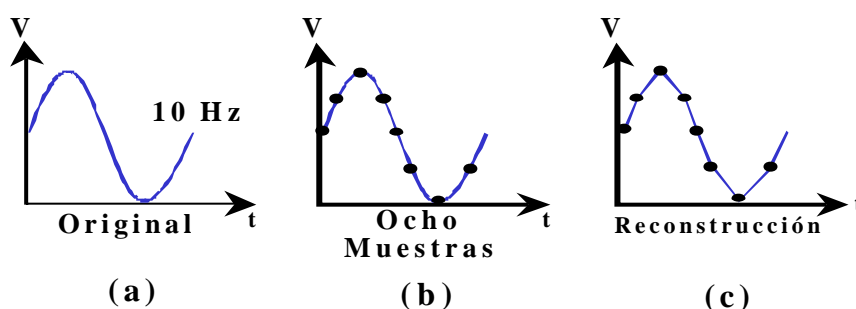


Figura Nro. 6. 3 Muestreo Mejorado

Entonces, para digitalizar mejor una señal análoga se requiere que la frecuencia de muestreo de al menos dos veces la frecuencia de la señal análoga de entrada. Por ejemplo, si se quiere convertir una señal análoga de 60 Hz, ésta debe ser muestreada a una tasa de por lo menos 120 ciclos por segundo. Esta frecuencia de muestreo, igual a dos veces la de la señal original, se conoce como *frecuencia de Nyquist*.

Por lo tanto, la relación entre la frecuencia de entrada, frecuencia de muestreo y tiempo de conversión es muy importante durante la etapa de

selección de un conversor análogo/digital para una aplicación de características particulares.

6.1.2 Características de los Conversores Análogos/Digital

Primero que todo, es muy importante conocer los parámetros básicos que caracterizan a todo conversor análogo/digital:

Resolución

Este concepto expresa el incremento o decremento de tensión necesaria para poder modificar el valor del bit menos significativo.

La siguiente expresión es válida para cualquier tipo de conversor análogo/digital cuya salida esté codificada en binario natural:

$$\text{Resolución} = \frac{V_{FS}}{2^n}$$

Donde V_{FS} es el valor de fondo de la escala del conversor y n el número de bits.

Tiempo de Conversión

Este concepto corresponde al tiempo necesario para asociar un valor digital con el valor de la tensión analógica de entrada del conversor.

Error de Cuantificación

Este error se origina en los cambios que pueda ocurrir, en la señal análoga de entrada, durante el proceso de conversión. En otras palabras, un ciclo de conversión requiere de un tiempo finito del orden de microsegundos a

milisegundos, para producir una palabra digital. Si la señal en la entrada cambia durante el ciclo de conversión, la palabra digital resultante representará un nivel de voltaje existente al final del ciclo, en lugar del nivel existente al comienzo del ciclo de conversión.

Si la señal que se pretende convertir a digital es continua, no se generará error de cuantización. No obstante, si la señal de entrada tiene una tasa de cambio alta, el error puede ser considerable.

Una manera muy común de evitar el error de cuantización es mediante la utilización de un circuito de memorización análoga llamado S/H (sample and hold: muestra y retención) ubicado en la entrada del conversor.

6.1.3 Tipos de Conversores Análogo/Digital

Existen diversos tipos de conversores, según la forma que utilizan para efectuar la conversión. En unos casos se efectúa directamente, por comparación con una referencia. En otros se realiza una transformación a una variable intermedia auxiliar.

Según sea el sistema utilizado tiene distintas características de precisión, rapidez de conversión y precio, que les hace más adecuados sobre otros, según sea la aplicación asignada. A continuación se describen los tipos de conversores más utilizados.

6.1.3.1 Conversor Tipo Flash

Este tipo de conversores, también conocidos como conversores en paralelo, son los más rápidos entre los existentes, alcanzando tiempos de conversión del orden de los nanosegundos. Esta configuración utiliza una escalera o banco de comparadores de nivel en paralelo para procesar la información análoga de entrada.

Según el esquema de la Figura Nro. 6.4, este dispositivo consta de N comparadores, a los que se le introduce por sus entradas una señal de referencia, distinta para cada uno de ellos. Esta señal se obtendrá mediante una red de resistencias de una misma tensión de referencia.

Por la otra entrada de los comparadores se introduce la señal procedente de un circuito de muestreo y retención. De este modo, se producen N comparaciones simultáneas entre la señal muestreada y las tensiones obtenidas de la referencia.

Las salidas de los comparadores se aplicarán a las entradas de un codificador que transformará esta información en un código binario.

Los tiempos de conversión de estos dispositivos los hacen muy atractivos, sin embargo, sólo se debe recurrir a este tipo de conversor cuando haya un número elevado de bits y/o la velocidad de conversión sea un requisito imprescindible. El motivo de esto es la utilización de un gran número de comparadores en caso de tener el convertidor un elevado número de niveles, por lo que su costo es muy elevado.

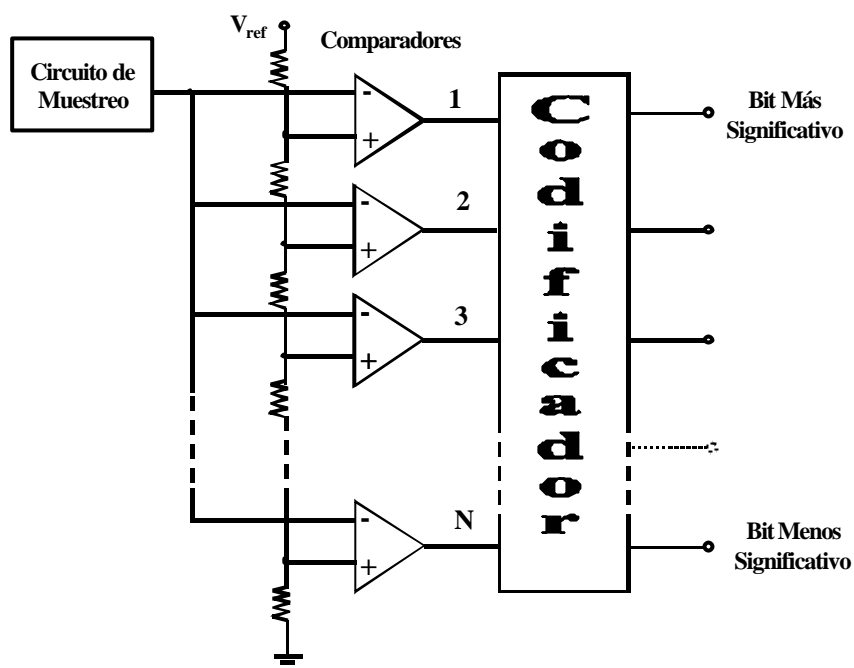


Figura Nro. 6. 4 Conversor Tipo Flash

6.1.3.2 Conversor de Rampa Unica

Una manera más eficiente y económica para realizar la conversión analógica/digital se logra con la estructura que se ilustra en la Figura Nro. 6.5. Este circuito se denomina conversor de rampa única o rampa simple, y consiste de un generador de rampa, un contador digital y un comparador.

La principal desventaja de este tipo de conversor analógico/digital, es la tendencia a operar de forma inestable en la generación de la rampa. Como no existe una forma de sincronización entre la señal de reloj y la generación de la rampa, cualquier corrimiento de uno de ellos afectará considerablemente la palabra digital de salida.

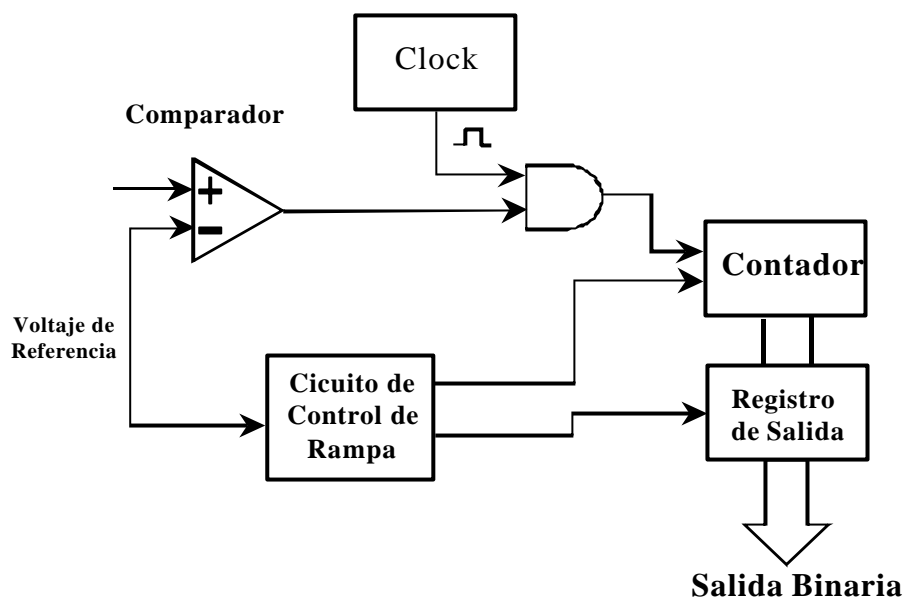


Figura Nro. 6.5 Conversor Analógico/Digital de Rampa Ubica

6.1.3.3 Conversor de Rampa Doble

Este tipo de conversor es el más utilizado en aplicaciones de gran precisión, sacrificando velocidad por estabilidad. El circuito de la Figura Nro. 6.6 elimina el efecto del corrimiento de los voltajes de la rampa a lo largo del tiempo, conectando la señal de entrada a un circuito integrador.

La desventaja de estos conversores es el tiempo extra necesario para realizar la doble rampa, llegando a necesitar, por lo menos, 100 ms para efectuar un ciclo completo de conversión.

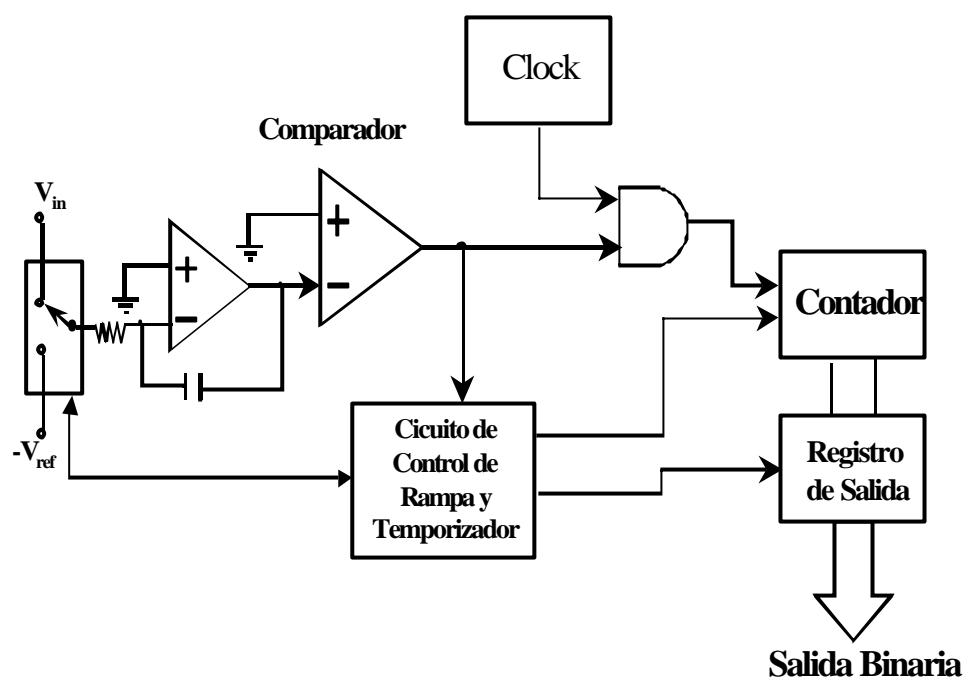


Figura Nro. 6. 6 Conversor Análogo /Digital Doble Rampa

6.1.3.4 Conversor de Aproximaciones Sucesivas

Esta técnica es la más utilizada en los circuitos convertidores de bajo costo, poseen una resolución moderada y consiguen velocidades muy altas de conversión. El corazón de este tipo de conversores es un dispositivo llamado *registro de sucesivas aproximaciones*. Este registro realiza una tarea análoga a la ejecutada por el contador digital de los conversores anteriores.

En la Figura Nro. 6.7 se muestra el diagrama de bloques para este tipo de dispositivos. Este circuito, como se ve en la figura, está compuesto por un registro de sucesivas aproximaciones, un conversor Digital/Análogo, un registro de salida y un comparador.

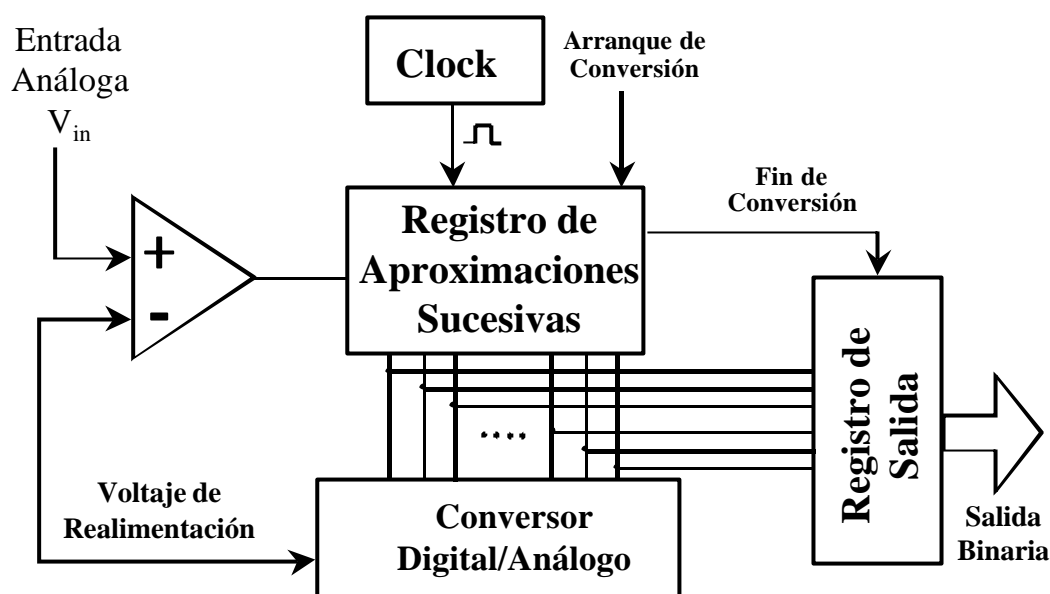


Figura Nro. 6. 7 Conversor de Aproximaciones Sucesivas

6.2 Conversión Digital/Análoga

Los conversores digital/análogo son dispositivos que reciben información digital, en forma de una palabra de n bits, y la transforma en una señal analógica. Cada una de las 2^n combinaciones binarias de entrada es convertida en 2^n niveles discretos de tensión (o corriente) de salida.

6.2.1 Estructura General de un Conversor Digital/Análogo

La estructura general de un conversor digital/análogo se refleja en el esquema de bloques presentado en la Figura Nro. 6.8. Este esquema posee un registro que almacena la información procedente de la entrada digital durante el tiempo necesario para realizar la conversión, quedando así libre las líneas de comunicación. El siguiente bloque del esquema son los conmutadores electrónicos que conectan una resistencia de la red resistiva.

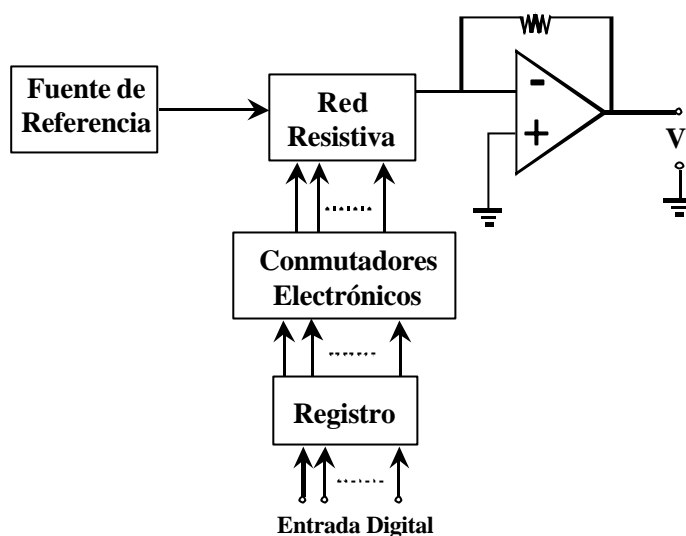


Figura Nro. 6. 8 Esquema General de un Conversor Digital/Análogo

6.2.2 Características de los Conversores Digital/Análogo

Para determinar las características de los conversores digital/análogo, es necesario que el fabricante dé sus especificaciones teóricas y los parámetros que permitan conocer de qué modo el conversor se aparta de su comportamiento ideal. A continuación se presentan las especificaciones más importantes.

✍ Resolución

La resolución de un conversor digital/análogo está dada por el número de niveles de voltaje análogo que es capaz de generar. Este parámetro está relacionado directamente con el número de bits de entrada que conforman la palabra binaria. Por ejemplo, un conversor de cuatro bits tiene una resolución de 4, siendo capaz de generar un número de niveles de voltaje (análogo) de $2^4 = 16$.

Lo anterior significa que la salida análoga debe estar representada por 16 niveles de voltaje. Es decir, cuantos más bits tenga el conversor, mayor exactitud logrará en la salida análoga.

Tiempo de Estabilidad

Este parámetro describe el tiempo que requiere la salida análoga para estabilizarse después que la palabra binaria aparece en la entrada. Usualmente se especifica como el tiempo que toma la salida para estabilizarse dentro de un rango igual al valor correspondiente a $\pm 1/2$ LSB (bit menos significativo) del cambio en la palabra de entrada.

Por ejemplo, si un conversor digital análogo tiene un rango entre 0 y 10 Volt, entonces el valor correspondiente al LSB es igual a:

$$\frac{10 \text{ V}}{2^8} = \frac{10 \text{ V}}{256} = 0,039 \text{ Volt} \quad \text{y} \quad \pm \frac{1}{2} \text{ LSB} = \pm 0,0195 \text{ Volt}$$

Por lo tanto el tiempo de estabilización es el que se requiere para que la salida alcance 0,0195 Volt del valor esperado. Típicamente, este tiempo es del orden de los 10^{-5} s.

Precisión

La precisión se define como la variación $\pm 1/2$ hasta 2 veces el valor de un LSB. Por ejemplo, para un conversor con una exactitud de ± 1 LSB, el voltaje de salida análogo puede variar tanto como el valor equivalente a un bit.

Si un conversor tiene una salida entre 0 Volt y 5 Volt y 12 bits de resolución, el valor del LSB es:

$$\frac{5 \text{ V}}{2^{12}} = \frac{5 \text{ V}}{4096} = 0,00122 \text{ Volt}$$

Por consiguiente, para cualquier entrada binaria, el voltaje de salida puede ser mayor o menor que el valor esperado en una cantidad igual a 0,00122 Volt. Si el mismo conversor tiene una exactitud de $\pm 1/2$ LSB, la salida se puede desviar en una cantidad igual a $\pm 0,00061$ Volt.

Entonces, cuanto menor sea el valor de la exactitud, más fielmente la salida análoga correspondería a la que se espera.



Error de Offset

Este error es el valor de la tensión de salida que hace que la función de transferencia no pase por el origen. El dato a indicar será, la tensión de salida que se obtendrá cuando se aplique el código 000...0 en la entrada. Este valor se expresa en milivolt, o bien como un porcentaje del valor máximo de la escala. Existen circuitos que permiten ajustar este offset mediante un potenciómetro exterior.



Error de Ganancia

Como se sabe, las características ideales de un conversor es una línea recta que pasa por el origen. Por el contrario, la característica real de un conversor digital/análogo es una escalera que puede ajustarse a una recta

y debe coincidir con la característica teórica del conversor. La diferencia entra las pendientes de ambas rectas constituye el error de ganancia.

Los fabricantes suelen ofrecer este dato como la diferencia entre ambas rectas para la combinación que da el valor a fondo de escala. Este error depende de la temperatura y la tensión de alimentación. La característica real de un conversor digital/análogo debe ser ajustada en las condiciones habituales de funcionamiento. La representación de este error se puede observar en la siguiente figura.

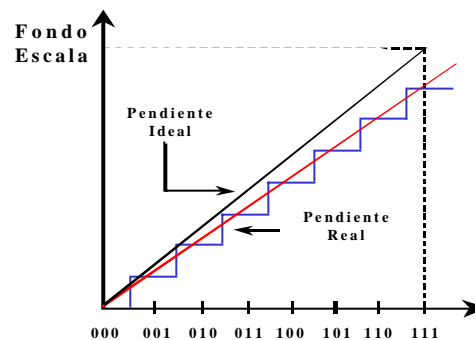


Figura Nro. 6. 9 Error de Ganancia

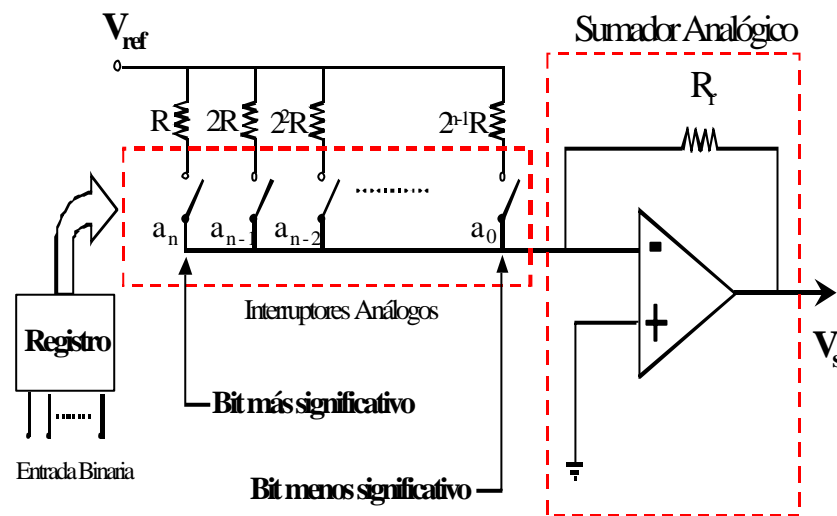
6.2.3 Tipos de Conversores Digital/Análogo

Existen diversas formas de efectuar una conversión analógica, sin embargo, la diferencia fundamental entre una y otra se basa en el tipo de red resistiva y en la fuente de tensión de referencia utilizadas. Por ello se destacan dos tipos principalmente, los que utilizan una red resistiva en escalera (tipo R-2R), y los que constan de un sumador con resistencias de entrada ponderada al peso en binario de cada bit de entrada.

6.2.3.1 Conversor Digital/Análogo de Resistencias Ponderadas

Esta técnica es uno de los métodos más antiguos y simple para convertir dígitos binarios o bits en una señal análoga. En la Figura Nro. 6.10, muestra un circuito general de un conversor digital/análogo de n bits, el cual consta de un sumador con amplificador operacional, un registro de almacenamiento y un juego de interruptores análogos.

El amplificador/sumador posee tantas entradas como bit tiene la palabra binaria que se quiere convertir. El registro memoriza la señal digital de entrada y sus salidas comandan la apertura y cierre de los interruptores análogos. Un cero (0) en la entrada de control de cada interruptor lo abre y un uno (1) lo



cierra.

Figura Nro. 6. 10 Conversor Digital/Análogo con Resistencia Ponderada

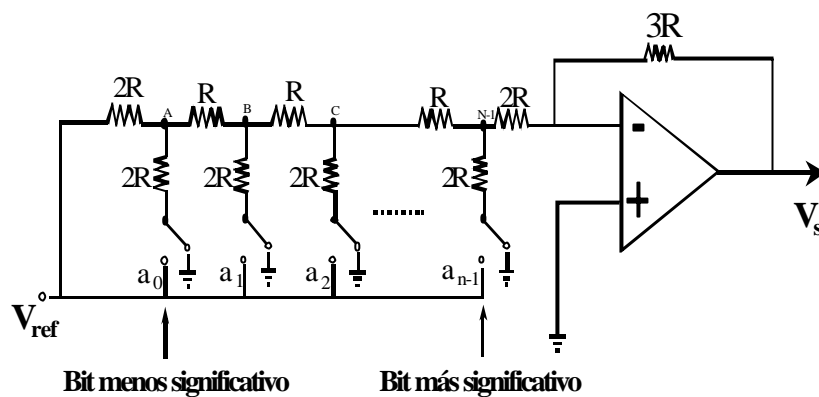
Por tanto y de acuerdo a la figura anterior, se tiene una expresión con que se obtiene la tensión de salida del conversor:

$$V_s = \frac{V_{ref} R_r}{R} \left(a_{n-1} + \frac{a_{n-2}}{2} + \dots + \frac{a_0}{2^{n-1}} \right)$$

No obstante, estos conversores, llamados de resistencia ponderada presentan el inconveniente de tener que utilizar resistencia de valores muy distintos con elevada precisión, lo que resulta difícil de conseguir, es por ello, que este método es utilizado únicamente en conversores de hasta 8 bits.

6.2.3.2 Conversores con Red de Resistencia en Escalera

Para evitar el empleo de resistencias de valores muy distintos para efectuar la conversión digital/analógica directa, se utilizan redes de resistencia



de valores R - $2R$, tal como se indica en la Figura Nro. 6.11.

Figura Nro. 6. 11 Conversor Digital/Análogo en Escalera R - $2R$

Esta configuración muestra se utiliza tres valores de resistencia, una red formada por resistencia de valor R y $2R$, y otra de realimentación del amplificador operacional de valor $3R$. De esta forma resulta más sencillo conseguir valores de mayor precisión. Una de las propiedades de esta red resistiva consiste en que la resistencia que se aprecia desde cada uno de los nudos ($A, B, C, \dots, N-1$) mirando hacia la dirección que se desee, es siempre la misma e igual a $2R$, se dividirá en los nudos en dos corrientes iguales y de mitad valor de la corriente entrante.

Esta corriente sufrirá dicha división en su camino hacia el amplificador operacional cada vez que atravesase un nudo, de manera que entrará al

amplificador con un valor inversamente proporcional a la potencia de R .
Dependiendo del número de nudos, la tensión de salida V_s será:

$$V_s = V_{ref} \left(\frac{a_{n-1}}{2} + \frac{a_{n-2}}{2^2} + \dots + \frac{a_0}{2^{n-1}} \right)$$

La gran ventaja de este tipo de conversor, es su simplicidad, permitiendo construir conversores digital/análogo integrados de buena exactitud y bajo costo.

6.3 Tarjetas de Adquisición

Como ya se ha expuesto, en las secciones anteriores, todo sistema de control por computador debe contar con dispositivos capaces, por un lado de adquirir y transformar una o varias señales analógicas, permitiendo así un tratamiento digital, y por otro, a su vez deberá permitir la transmisión a modo de respuesta, una señal que actúe analógicamente sobre un controlador o actuador, lo que obliga a realizar la operación inversa, es decir, distribuir la señal, reconstruyéndola, de digital a analógica.

Hoy en día el mercado cuenta con una diversidad de estos dispositivos, destacándose de entre ellos las *Tarjetas de Adquisición de Datos*, puesto que su utilización por medio de computadores es mucho más sencilla, rápida y de bajo costo.

6.3.1 Estructura Básica para Tarjetas de Adquisición de Datos

En general, en toda tarjeta de adquisición de datos sus componentes básicos pueden ser resumidos en dos partes, una de adquisición y otra de

distribución. La primera se compone a su vez de tres subetapas, las que se encuentran dispuesta en el siguiente orden lógico; una etapa multiplexora, que permite atender muchos canales a través de una sola tarjeta, un conversor análogo/digital y por último los buffers necesarios para incorporar los datos muestreados al computador. En la segunda etapa, su orden lógico es inverso al de la primera, en primer lugar, estarían los buffers necesarios para obtener los datos desde el computador, seguido una etapa conversora digital/analógica y por último los demultiplexores, que permiten distribuir los datos a los respectivos canales de salida hacia el proceso. Figura Nro. 6.12.

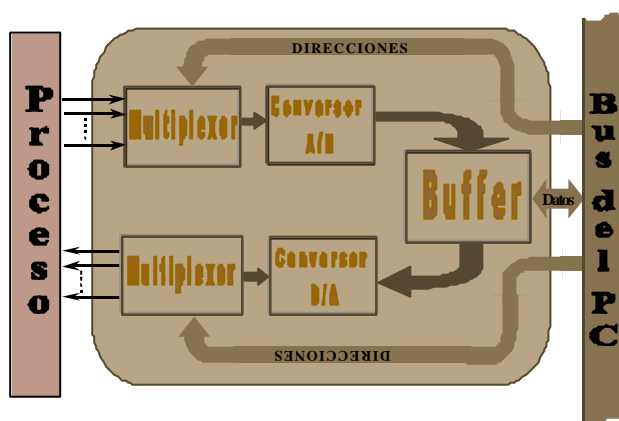


Figura Nro. 6. 12 Esquema Básico de una Tarjeta de Adquisición de Datos

6.3.2 Características Básicas de Adquisición y Distribución de Datos

Esencialmente tanto para la adquisición y distribución de datos, las características son comunes, lo que no quiere decir que tengan el mismo valor, es decir, para cada caso se deben definir sus parámetros por separado. A continuación se describirá cada uno de ellos:

✍ Número de Canales

Este parámetro debe indicar la capacidad de canales tanto de entrada como de salida que posee un determinado dispositivo de adquisición y distribución de datos. Específicamente para la entrada, debe estar señalado el número de canales que posee tanto en modo diferencial como en modo común.

En modo común todas las señales de entrada son referenciadas a un punto común de tierra, siendo este método utilizado preferentemente en caso de que las señales de entrada sean mayores a 1 Volt, o bien si la distancia entre la fuente de la señales y el dispositivo de adquisición sea menor a 4,6 Mts. Por otro lado, en modo diferencial, cada entrada tiene su propia tierra de referencia, lo que minimiza los errores producidos por efecto del ruido eléctrico.

Resolución

Este parámetro indica el número de bits que la tarjeta utiliza para representar una señal análoga. Por ejemplo, la tarjeta SUPER 12 tiene una resolución de 12 bits, es decir la señal de entrada análoga será transformada a una palabra digital de largo 12. Este parámetro tiene mucha importancia a la hora de seleccionar un dispositivo de adquisición, ya que a medida que sea mayor la resolución de éste, mejor representación de la señal se tendrá.

Rango de Entrada/ Salida

Este parámetro define el valor máximo y mínimo de nivel de voltaje que puede soportar una tarjeta de adquisición, distinguiendo entre unipolar y bipolar. Destacando, que la mayoría de estos dispositivos permiten configurar estos valores, variando tanto el rango de voltaje autorizado como la polaridad (unipolar/bipolar), lo que otorga un mejor aprovechamiento de la resolución de estos dispositivos, permitiendo medir con mayor exactitud la señal.

Tiempo de Conversión

Este parámetro determina por canal el tiempo que demora el dispositivo en realizar la conversión tanto de analógica a digital como viceversa.

Precisión

Idealmente la señal analógica y su equivalente digital incrementan en forma lineal, sin embargo, en la realidad existe una pequeña desviación, definida por este parámetro. La máxima desviación que pueden tener estos dispositivos es de 1 LSB y el mínimo e ideal será de 0 LSB, no obstante, un valor aceptable a considerar será de $\pm \frac{1}{2}$ LSB.

6.3.3 Selección de Tarjeta de Adquisición Adecuada

Dentro del desarrollo de los sistemas de control automáticos por computador, la elección adecuada de estos dispositivos adquiere especial relevancia, puesto que son los encargados de incorporar una o varias variables

físicas como un dato útil al computador, de esto depende que la aplicación llegue a buen término. Los pasos involucrados en una buena selección son:

1. Identificación de los Voltajes a Adquirir y Distribuir

En este punto se debe tener claro, por un lado la rango de voltajes que entrega el sensor utilizado y por otro los voltajes requeridos los elementos actuadores del proceso, seleccionando el dispositivo que más se adecue a estos valores, lo que permite reducir la etapa de amplificación en la fase de acondicionamiento de señales, a una mínima configuración, llegando incluso a eliminarse según sea el caso.

El mercado hoy en día ofrece dos tipos de tarjetas, de acuerdo a al rango de voltaje de operación necesario. Por un lado, existen dispositivos para señales estándares, es decir, señales del orden de los $\approx 2,5$, ≈ 5 y ≈ 10 Volts y por otro, se dispone tarjetas para señales pequeñas del orden de los milivolts (≈ 5 , ≈ 10).

2. Definición del Error Aceptable

De acuerdo a la variable física que se este controlando, el sensor tiene una precisión definida desde fábrica, por ejemplo, un sensor de peso, pudiera no darse cuenta de variaciones de peso inferiores de $0,1$ gr. o una termocupla, pudiera no darse cuenta de variaciones de temperatura inferiores a $0,1^\circ$.

Por otro lado, las tarjetas de adquisición de dato tienen un número finito de bits, a través de los cuales pueden representar el rango total del voltaje de operación. Esto significa, que aprovechando en un 100% el rango de la tarjeta, no se puede detectar diferencias de este rango inferiores al error de la tarjeta (e_t), donde este valor es:

$$e_t \approx \frac{R}{2^n}$$

Donde R es el rango de la variable física necesario de operación y n el número de bit de la tarjeta.

Lo correcto es que e_t jamás sea mayor al error del sensor definido desde fabrica. A mayor precisión necesaria, mayor resolución debe tener la tarjeta (número de bits) y por su puesto más cara. En conclusión, debe existir un compromiso entre precisión aceptable y costo de la tarjeta.

3. Establecimientos de los Tiempos de Muestreo

En este punto existen tres factores involucrados. El primero, tiene relación con los tiempos de conversión que poseen los componentes internos de la tarjeta de adquisición de datos, puesto que estos se encuentran definidos por el fabricante, siendo más caro el dispositivo a mayor rapidez requerida.

Otro factor presente, son los tiempos de operación que posee la máquina donde se está trabajando, ya que de ser ésta más rápida que la tarjeta, las rutinas de adquisición y distribución se ejecutarán en menos tiempo del que le toma a ésta muestrear y convertir una variable de análoga a digital

o vice versa, haciéndose imposible la adquisición. Es posible sin embargo, corregir este problema a costa de degradar el funcionamiento del equipo, generando ciclos de espera, no siendo esto lo más adecuado.

Por último, se debe también considerar el tiempo de muestreo, discutido en la sección 6.1.1, ya que dependiendo de la velocidad de cambio de las variables físicas, es necesario definir un dispositivo de menor o mayor tiempo de respuesta. Por ejemplo, si la variable a muestrear se relaciona con la temperatura su velocidad de cambio es lento, por lo tanto no se requiere de un dispositivo demasiado rápido. Por otro lado, si la variable a muestrear se relaciona con un control de posición de un brazo robótico, la velocidad de cambio es mayor, lo que obligaría a utilizar una tarjeta con una velocidad de respuesta mayor.

6.3.4 Configuración e Instalación de una Tarjeta de Adquisición de Datos

En general la instalación de este tipo de dispositivos en un computador es relativamente sencilla, siendo similar a la de cualquier otro tipo de tarjetas, como de video, de red, etc., sólo será necesario tener presente algunos puntos, antes de proceder a su montaje.

6.3.4.1 Seteo de Tarjetas de Adquisición de Datos

Es imprescindible verificar que el seteo de la tarjeta sea el correcto, de lo contrario se corre el riesgo de que ésta se queme. Por ello, apoyándose en el manual de la tarjeta, es necesario revisar los siguientes puntos:

- 1.** Seleccionar las localidades de memoria donde se ubicarán los datos de entrada/salida. Teniendo especial cuidado a la hora de elegir, puesto que estas direcciones pueden estar ocupada por otro dispositivo.

Por ejemplo, la tarjeta de adquisición de datos SUPER, puede ocupar las localidades de memoria desde &H170 hasta &H17F, o bien desde la &H160 hasta la &H16F.

- 2.** El modo como trabajará la señal de entrada (Común o Diferencial), ya que de acuerdo a esto adoptará una disposición específica de los canales tanto de entrada como de salida de la tarjeta
- 3.** Por último, establecer el rango y polaridad del voltaje (Unipolar o Bipolar), tanto para la entrada como para la salida.

6.3.4.2 Instalación

Como ya se ha hecho mención las tarjetas de Adquisición de Datos, son como cualquier otro periférico del computador, encargándose específicamente de la comunicación de éste último con un determinado proceso. Por tanto su instalación es similar:

1. Setear la tarjeta de acuerdo a su utilización.
2. Asegurar que el computador este apagado.
3. Remover la cubierta del computador.
4. Instalar la tarjeta en algún slot de expansión disponible del computador.
5. Cerrar el computador y encenderlo.

6.3.5 Establecimiento de Curvas Características para Representación de Datos

En este punto se debe tener especial cuidado, puesto es aquí donde se relaciona la variable física con su representación numérica dentro del computador. Para ello existen tres curvas características.

La primera, representa la relación entre variable física y voltaje, cabe destacar que esta curva siempre es entregada por el fabricante del sensor.

La segunda corresponde al dispositivo de adquisición de datos y relaciona voltaje de entrada y/o salida de éste versus el número entero que lo representa al interior del computador, cuyo rango corresponderá al número de bits que posea la tarjeta. Por ejemplo la tarjeta referenciada por este documento (*I/O Card de 12 bits*), tiene un rango numérico de 0 a 4095.

Por último, se tiene la curva que relaciona la variable física con el número que entrega la conversión. En esta curva se debe tener especial cuidado, ya que

de cometer algún error al determinarla, los datos que el computador entregue no serán representativos del proceso. Para su determinación se deben tomar en cuenta las dos anteriores, relacionándolas entre sí, para finalmente obtener la representación de la variable física dentro del computador.

En un caso sencillo, trabajando con sensores que tengan una respuesta lineal, su curva característica estaría representada por la ecuación de una recta ($y = mx + d$). Por otro lado, en caso de no contar con la curva característica del sensor es necesario determinar su comportamiento, para ello se toman algunas muestras graficando su curva, buscando alguna que se asemeje, de no encontrar una adecuada, será necesario generar una a partir de los datos muestreados, mediante un proceso de regresión.

6.3.6 Programación de la Adquisición y Distribución de Datos

En general cada dispositivo tiene sus propios procedimientos, teniendo sus propias secuencias tanto para la lectura como para la escritura, sin embargo para el desarrollo de esta memoria se utilizó la Tarjeta *I/O Card de 12 bits*, quien posee procedimientos muy sencillos. Teniendo presente que toda tarjeta de adquisición reserva algunas localidades de memoria del computador, las que utilizará como un nexo de comunicación, donde se ubicarán tanto los datos de entrada como los de salida, y alguna otra información que requiera la tarjeta.

6.3.6.1 Adquisición de Datos

El procedimiento de adquisición, tal como ya se ha mencionado, es muy sencillo y consta de sólo seis pasos:

1. Escribir el número del canal desde el cual se desea adquirir:

OUT port, canal

2. Limpiar el registro:

OUT (port+ 1), 0

3. Activar conversión:

FOR I = 1 to 6

A= INP(port + 12)

NEXT I

FOR I = 1 to 8

A= INP(port + 8)

NEXT I

4. Leer el byte alto (4 bits)

C = INP(port + 3)

HB = (C/16 - INT(C/16))*16

5. Leer Byte bajo (8 bits)

LB = INP(port + 2)

6. Obtener número

A/D = HB * 256 + LB

Donde en general para todos los pasos **port**, tiene el valor de la dirección base (&H170 o &H160, según seteo).

6.3.6.2 Distribución de Datos

Este procedimiento es mucho más sencillo que el de la adquisición, consta de sólo dos pasos:

1. Escribir el Byte alto (4 bits):

OUT (port + 5), Hdato ; para el canal 1

OUT (port + 7), Hdato ; para el canal 2

2. Escribir el Byte bajo (8 bits):

OUT (port + 4), Hdato ; para el canal 1

OUT (port + 6), Hdato ; para el canal 2

6.4 Controladores Programables Lógicos, PLC

Los Controladores Programables Lógicos, mejor conocidos como PLC, son dispositivos electrónicos diseñados para el control de máquinas y procesos de forma automática. Estos dispositivos causan un gran impacto sobre el control de los procesos industriales debido a su gran versatilidad y confiabilidad.

De acuerdo con una definición entregada por **NEMA** (National Electrical Manufacturers Association) “Un controlador programable es un aparato electrónico operado digitalmente, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones con las que se implementaran funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas que monitorean y controlan, en tiempo real, a través de módulos de entrada /salida digitales o analógicas uno o varios procesos industriales”.

6.4.1 Características Generales

Una de las más destacadas características que poseen estos dispositivos es su modularidad, ya que, se puede agregar, sustituir e incluso redistribuir sus componentes para dar una mayor flexibilidad.

También es importante mencionar que poseen tres componentes básicos, los que son considerados módulos primordiales del sistema; el primero, la sección procesadora, el cerebro del controlador, es quien recibe los reportes de las condiciones de entrada y de acuerdo a éstas, maneja las salidas; el segundo componente, las interfaces de entrada/salida, que a menudo se incluyen en la sección procesadora en el mismo gabinete, pueden ser cualquier dispositivo, análogo o digital, que permitan la comunicación con circuitos de lógica dentro del controlador, o bien, que reciban información desde ellos para ser traducida a una forma útil y así, ser entendida por el exterior; por último y no menos importantes, los dispositivos de programación, que habitualmente son portátiles y removibles, aunque en ocasiones serían un accesorio permanente en determinados sistemas, son quienes permiten la programación del controlador, ya que a través de ellos se ingresan las ordenes que ejecutaría la unidad procesadora.

Otra característica destacable de los PLC, desde el punto de vista de su operación, es que estos dispositivos están impulsados por eventos, lo que significa que responden a cambios del estado presente de un proceso, sistema o maquinaria en particular, por ejemplo, pueden responder en tiempo real a un cambio de temperatura de un fluido cualquiera en un estanque de

almacenamiento. Además, estos controladores, tienen la capacidad utilizar un número diverso de dispositivos, tanto de entrada como de salida, entre los más comunes se encuentran interruptores y sensores de distintos tipos para la entrada y luces, relés y otros para la salida. Lo que permite clasificarlos de acuerdo a su tamaño (número de entradas/salidas) en tres grupos. Los de *Gama Baja*, permiten hasta un máximo de 128 entradas/salidas; los de *Gama Media*, de 128 a 512 entradas/salidas; y por último los de *Gama Alta*, que tiene una capacidad de más de 512 entradas/salidas.

Por ello los controladores programables se diferencian de los computadores de uso general, los que por el contrario trabajan en gran parte con la información almacenada y frecuentemente operan con un número limitado de entradas.

6.4.2 Funciones de un Controlador Programable

Los controladores programables además de permitir que los sistemas de control automático sean mucho más eficientes que los antiguos sistemas electromecánicos, también, reemplazan la lógica estándar de controles accionados por relés. Estos dispositivos pueden realizar muchas tareas, entre las que destacan:

- ✍ El reemplazo de relés, contadores, medidores y dispositivos análogos electromecánicos con circuitos de estado sólido más confiables.

- ✍ Operaciones aritméticas sencillas, como sumas y restas necesarias para controlar ciertas operaciones.
- ✍ Ubicación de fallas, alarmas, y supervisión de dispositivos que requieren muy poca atención.
- ✍ La supervisión de dispositivos peligrosos o en un ambiente peligroso.

6.4.3 Estructura de los Controladores Programables

Como ya se estableció con anterioridad, un PLC es un microprocesador dedicado al control de etapas productivas a través de un programa que es insertado en su memoria, el que puede ser modificado las veces que sea necesario, otorgando una aplicación bastante flexible, que no dependa de la forma rígida de los componentes del controlador, como era en el caso de los antiguos dispositivos, que poseían un programa constituido por el ordenamiento físico de los módulos electrónicos que lo formaban, siendo muy poco versátil a cambios en el proceso.

Su estructura externa está referida al aspecto exterior del PLC, que en la actualidad se opta por dos estructuras; Una *Compacta*, que presenta en un sólo bloque casi todos sus elementos, como son la fuente de poder, la unidad central de procesos, los módulos de entrada y salida, etc.; y una *Modular*, que permite expandirse de acuerdo a las necesidades, ya que, como su nombre lo indica, está formada por partes que realizan funciones específicas.

Su estructura interna se divide en bloques tal y como se representa en la Figura Nro. 6.13, destacando de ella la unidad central de procesos, los módulos de entrada/salida y el dispositivo de programación, que como ya se mencionó con anterioridad serían los componentes esenciales de un PLC.

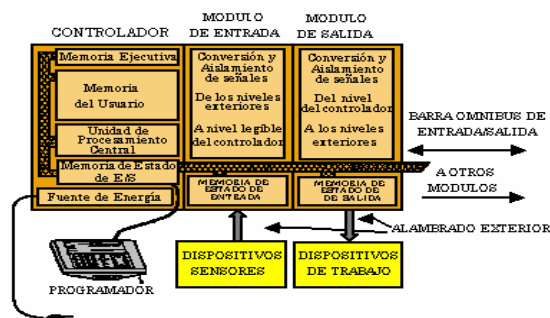


Figura Nro. 6. 13 Componentes de un PLC

i. Unidad Central de Procesos, CPU

Este componente es el cerebro del controlador, quien se encarga básicamente de rastrear y ejecutar todas las instrucciones contenidas en el programa inserto en su memoria, realizando operaciones aritméticas/lógicas y transferencias de memoria, permitiendo así sensar las variables de entrada y actualizar las salidas de acuerdo a lo dispuesto por el usuario.

ii. Memoria Principal

Se entiende por memoria a cualquier dispositivo que permita almacenar información. La memoria principal se divide esencialmente en tres porciones, que son: memoria del sistema, memoria de usuario y memoria

de dispositivos de entrada y salida. Cada una de las cuales prestan diferentes servicios.

Memoria del sistema, corresponde a la porción de memoria colocada por el fabricante, la cual contiene las rutinas necesarias para el funcionamiento básico del PLC. Posee las instrucciones de como comunicarse con sus módulos integrantes, como realizar un conjunto de operaciones y las rutinas necesarias para el testeo inicial del estado del PLC.

Memoria del usuario, esta porción de memoria está encargada de almacenar cada uno de los programas de aplicación de los usuarios y del almacenamiento de datos temporales que permiten una correcta ejecución de estos programas.

Memoria de dispositivos de entrada/salida, esta porción de memoria se destina a la comunicación con los periféricos, para que así el controlador programable, un sensor o un actuador sean manejados sólo a nivel de una o más localidades de memoria.

iii. Módulos de Entrada/Salida de Señales

Estos módulos proporcionan un vínculo vital entre el controlador programable y los dispositivos ubicados en el proceso, protegiendo a éste eléctricamente contra voltajes peligrosamente altos. Tiene por misión convertir señales eléctricas externas de entrada a información entendible por el PLC y a su vez, señales de salida del controlador, serían

transformadas por estos dispositivos en señales útiles para los actuadores eléctricos. Básicamente estos dispositivos se clasifican de acuerdo al tipo de señal, debido a que no siempre son de la misma clase. Por ejemplo, una termocupla entrega una señal análoga, variable, en un rango de 1 a 30 mV, por tanto, debe ser leída por dispositivos que permitan discernir entre un conjunto de posibles valores de entrada, o sea, módulos analógicos. Contrariamente, si es necesario saber el estado de una alarma o de una válvula on/off, la señal a leer sólo tiene dos posibles valores de entrada (on/off), en cuyo caso con un módulo digital es suficiente para adquirir dicha información. Por esta razón, los módulos de entrada/salida se clasifican en:

Módulos digitales, que son considerados como interruptores electrónicos que envían y reciben señales desde el controlador. Como módulos de entrada, el proceso proporciona señales binarias de corriente o voltaje al controlador; y como módulos de salida, las señales generadas por el controlador proporcionan los voltajes necesarios en el proceso.

Módulos analógicos, en forma básica estos dispositivos permiten al controlador operar con señales del proceso tales como 4-20 mA, 1-30 mV, etc., para ello utilizan conversores análogo/digital en la entrada, con lo cual proporcionan al PLC un valor digital proporcional al valor de la señal analógica y viceversa para la salida, convirtiendo valores digitales en señales analógicas que serán utilizadas por algunos dispositivos en terreno.

iv. Módulos Adicionales

Un controlador programable por si mismo posee un cierto potencial en lo que respecta a la utilización de contadores, sumadores, temporizadores, etc. Sin embargo, este potencial puede ser incrementado a través de la incorporación de módulos específicos que permitan realizar tareas más complejas, como por ejemplo, controladores PID, temporizadores, contadores y módulos de comunicación.

v. Fuente de Poder

Como todo dispositivo electrónico, que posee componentes activos (transistores, circuitos integrados), es necesario contar con una fuente de poder. Más aún en este caso, ya que es el propio controlador el encargado de entregar voltajes o corrientes útiles para activar o desactivar directa o indirectamente dispositivos ubicados en el proceso.

También es esencial disponer de una batería que permita una alimentación auxiliar con el objeto de mantener la información almacenada en memoria (programas de control), durante los momentos que el controlador esté sin energía.

vi. Dispositivo de Programación

En todo controlador programable es necesario contar con un dispositivo que permita cargar en memoria los programas del usuario. Este puede ser un computador comunicado a través de sus puertas seriales, con ayuda de

un programa dedicado a ello, o bien, un dispositivo especializado, el cual se conecta directamente a una puerta del controlador. En la práctica, este último es de gran utilidad para el ingreso o corrección de programas de los controladores programables en virtud de su transportabilidad.

vii. Bus de Comunicación

Tanto módulos de entrada/salida, como otro tipo de módulo, se comunican con el microprocesador central a través de buses destinados específicamente a esta función. Un bus es básicamente un conjunto de líneas físicas que permiten el transporte de los datos en uno u otro sentido, permitiendo disponer de un lugar físico (tornillo) ubicado en los módulos de entrada/salida, el cual corresponde en forma directa a una dirección de memoria en el PLC.

6.4.4 Direccionamiento de Variables en Controladores Programables

En un PLC las variables se direcciona de acuerdo a la ubicación física de los módulos, ya sea de entrada o salida. La dirección **0** corresponde al módulo más cercano a la CPU, la **1** al siguiente y así sucesivamente. A su vez, cada módulo cuenta con un número determinado de contactos, por tanto, para acceder a una determinada variable y reconocer si el módulo es de entrada o de salida se considera la codificación del punto del bus de datos al cual éste se conecta, por esta razón, primero debe hacerse referencia al módulo y luego al contacto. Figura Nro. 6.14.

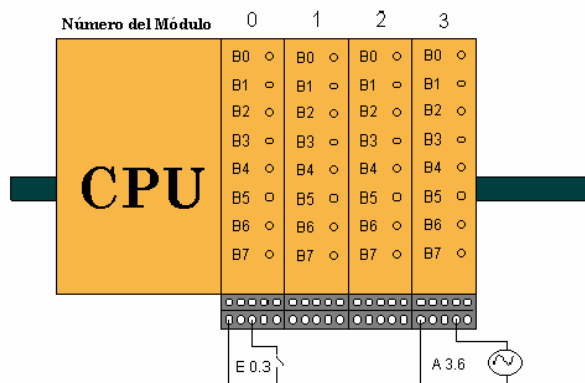


Figura Nro. 6. 14 Esquema Representativo de un PLC

Por ejemplo, según la figura anterior, una variable de entrada que proveniente de un interruptor manual será direccionada en el módulo número 0, en el contacto 3 y una variable de salida conectada a una lámpara, correspondería al módulo 3 contacto 6.

Por último es importante destacar que para el controlador programable todos los componentes sólo son direcciones de memoria que serían administradas por él. Es así como la conexión a otro controlador, o bien a otros módulos que no sean los de entrada o salida, por ejemplo, un temporizador, un controlador de velocidad para motores sincrónicos, etc., se realiza a través de un módulo que se asigna a una dirección de memoria en particular.

6.4.5 Ciclo Básico de Ejecución de un Programa

Los controladores ejecutan el programa presente en su memoria en forma cíclica continuamente, nunca se detiene, a diferencia de un programa para un computador común y corriente, ya que, éste último debe siempre disponer de un

fin de ejecución. El controlador esta en un ciclo constante donde ejecuta constantemente una secuencia de instrucciones asociadas a una salida, por lo que su lógica es resuelta conforme se ejecutan cada uno de estos travesaños.

En la memoria principal la ejecución de los programas se realiza en forma modular con una estructura jerárquica la cual es respetada en cada uno de los ciclos.

El largo del ciclo depende principalmente de la cantidad de instrucciones, de ahí, lo importante de entender bien la forma en que se ejecuta un programa, ya que a medida que aumentan las instrucciones se produce un mayor retardo entre la verificación de cada una de las entradas. Por ejemplo, si se tiene un proceso demasiado rápido y de alguna forma se esta dependiendo del tiempo de toma de una muestra, a medida que aumenta el largo del programa las condiciones variarían. Sin embargo, el largo del programa prácticamente no influye en el comportamiento de los temporizadores y contadores.

La verificación de las puertas de entrada es secuencial, partiendo desde el módulo 0 hasta el último instalado, realizándose en forma cíclica. Figura Nro. 6.15.

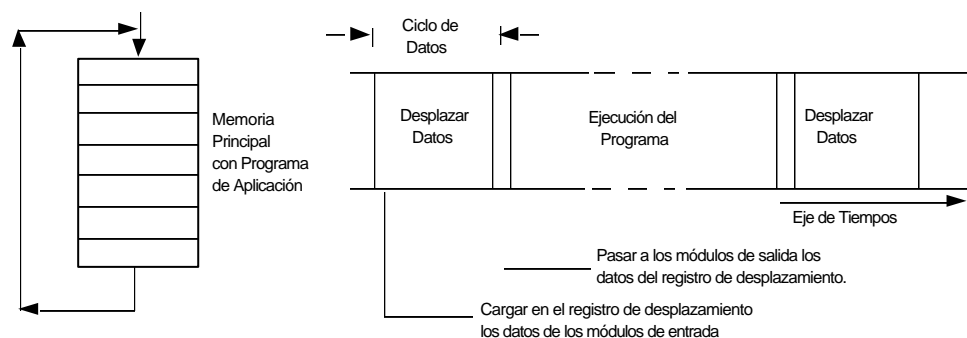


Figura Nro. 6. 15 Esquema de Ejecución de un Programa en un PLC

6.4.6 Programación de un Controlador Programable

Para programar un controlador existen dos formas típicas de nomenclatura, dependiendo de la formación del programador, es decir, para un eléctrico o electrónico le es familiar la simbología típica en un diagrama de relés y contactos, conocido como **diagrama en escalera o Plano de contactos (KOP)**, cuyo método fue el primero en ser implementado con el objeto de reemplazar la incómoda lógica cableada de relés. Sin embargo, si el programador no está familiarizado con este tipo de representación le es más cómodo un lenguaje lógico de programación con **instrucciones mnemotécnicas (AWL)**, como por ejemplo, STEP 5, siendo éste particular de una familia de PLC's marca Siemens.

6.4.6.1 Programación en Diagrama de Escalera (KOP)

En la programación de un PLC, el diagrama de escalera es una manera práctica de visualizar un programa. Sin embargo, se debe tener presente que la red real de los componentes no tiene semejanza con lo dibujado en la pantalla de programación.

Tradicionalmente, las líneas verticales del diagrama de escalera representa el bus principal, mientras que los peldaños o travesaños corresponden a una rama del diagrama de escalera, que contienen una red de

entradas, asociadas a un conjunto de instrucciones, las que están destinadas a establecer la lógica del comportamiento de una salida.

Para representar una entrada, el símbolo más comúnmente utilizado es el contacto, existiendo dos tipos diferentes, uno normalmente abierto, quien en su estado de reposo no permite conducción eléctrica, y otro normalmente cerrado, que por el contrario al anterior, en estado de reposo permite conducción. Sus esquemas típicos se muestran en la siguiente figura.

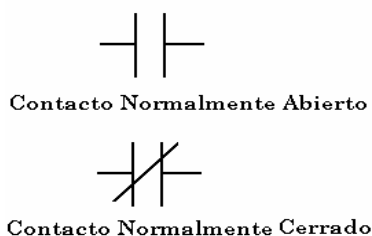


Figura Nro. 6. 16 Representación Gráfica de Entradas

Otro símbolo importante es el asociado con la salida, siendo generalmente representada por una bobina (ver Figura Nro. 6.17), la que tiene directa relación con uno o más contactos, ya sea, internos o externos. Existen cinco distintos tipos de éstas, las que pueden ser clasificadas de acuerdo a la forma en que se activan. Por ejemplo, la **bobina normal** se activa sólo mientras existe excitación y su comportamiento es simultáneo a ella; La **bobina con retardo a la conexión** es activada con un retraso en el tiempo, el que será definido por el programador, durante el cual debe permanecer en forma continua la excitación. La **bobina con retardo a la desconexión** es activada en forma simultánea con la excitación, pero su desactivación demora un tiempo definido

por el usuario una vez que se ha retirado su excitación; En la **bobina de activación prolongada** su activación depende de la excitación pero no su desactivación, comportándose en forma similar a un multivibrador monoestable; Por último, la **bobina de activación de tipo AND** se activa sólo durante el momento de excitación, siempre y cuando éste no exceda un tiempo predefinido en cuyo caso se desactiva no importando la condición “and”.

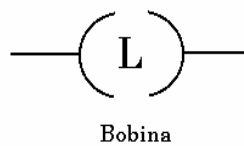


Figura Nro. 6. 17 Representación Gráfica de una Salida

En general, un diagrama de escalera se identifica con variados elementos y conceptos, de los cuales, los más básicos y esenciales se presentan a continuación.

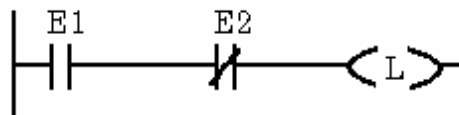


Figura Nro. 6. 18 Travesaño Tipo AND

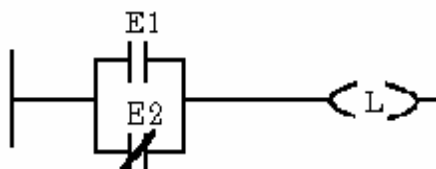


Figura Nro. 6. 19 Travesaño Tipo OR

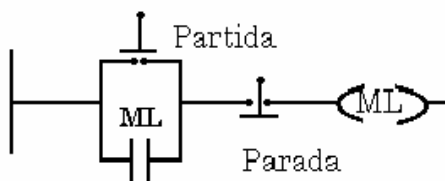


Figura Nro. 6. 20 Travesaño Tipo Retención

El primero de estos esquemas, Figura Nro. 6.18, presenta un peldaño tipo AND, en donde dos a más contactos se enlazaran en serie para activar la salida, siempre y cuando todos sean lógicamente verdaderos, dicho de otro modo, estén en estado cerrado. La Figura Nro. 6.19 gráfica un travesaño tipo OR, el cual actuará de acuerdo al comportamiento lógico del OR, o sea, basta con que una de las entradas sea verdadera o bien este cerrada, para activar la salida de la bobina L. El último esquema, Figura Nro. 6.20, travesaño de Retención, tiene por objetivo controlar la partida y parada del proceso en general, su funcionamiento es muy simple, para la partida, basta presionar la botonera normalmente abierta correspondiente y como ésta se encuentra en un travesaño tipo OR con el contacto asociado a la bobina que activa o desactiva el proceso, activará el proceso cerrando el contacto, lo que permitirá mantener el proceso trabajando hasta que la otra botonera, la de parada normalmente cerrada, desactive el proceso, debido a que ésta última se encuentra enlazada bajo un travesaño tipo AND con el travesaño OR de la partida.

Finalmente, para comprender mejor este estilo de programación se presentará a continuación un ejemplo, que entrelazará todos los elementos y conceptos anteriormente descritos.

En este ejemplo, se pide controlar la carga continua y automática de camiones. Para ello se requieren dos silos, uno de gran capacidad, que será cargado por una correa transportadora, y el otro que tiene la capacidad exactamente igual a la autorizada como carga de los camiones. Ambos silos poseen dos sensores de nivel, uno indica el nivel máximo y otro para el mínimo. Además cada uno posee una compuerta la que se abre para descargar el respectivo silo. Cuando el silo dos posee carga completa, el primer semáforo encenderá luz verde para dar el paso a un camión que tomará posición de carga, de lo contrario el semáforo indicaría con luz roja que se está cargando, alertando así a los demás camiones. Tal y como se ve en la Figura Nro. 6.21.

Una vez que el chofer alcance la posición de carga accionará la baliza, la que será detectada por el sistema y provocará la apertura de la trampa para proceder a cargar. Finalizada esta acción, el segundo semáforo indicará con luz verde al chofer que debe partir, puesto que terminó el proceso.

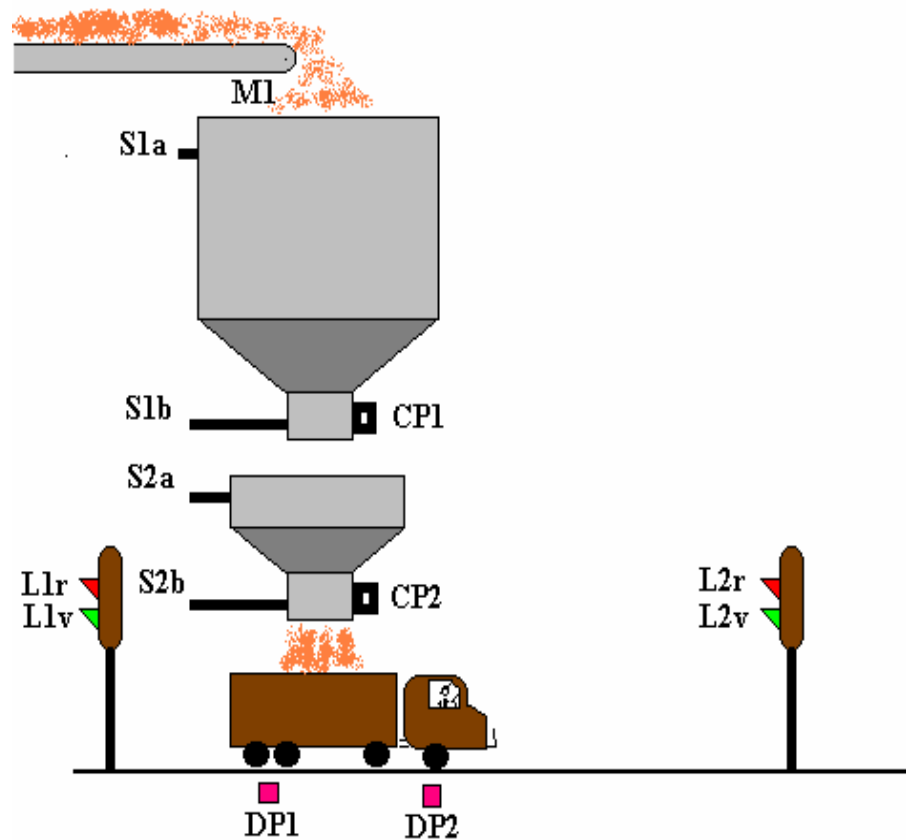


Figura Nro. 6. 21 Control de Carga de Camiones

Cada vez que se carga un camión, el primer silo debe llenar al más pequeño puesto que se vació. Si el mayor queda sin carga, se debe activar la correa transportadora que procederá a llenarlo.

Para desarrollar el diagrama de escalera que controle la carga de camiones, primero se debe establecer las variables que actúan en el sistema, teniendo claro cuales son de entrada y cuales de salida.

Para este ejemplo la tabla siguiente resume todas ellas, seguido de un diagrama de escalera que lo controla.

VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
S1a	Detector de Nivel Máximo para el Silo 1.	P1	Detector de partida y parada del proceso.
S1b	Detector de Nivel Mínimo para el Silo 1.	M1	Motor para correa transportadora
S2a	Detector de Nivel Máximo para el Silo 2.	CP1	Trampa para Silo 1
S2b	Detector de Nivel Mínimo para el Silo 2.	CP2	Trampa para Silo 2
DP1	Primer detector del camión.	L1r / L1v	Luces Roja y Verde para semáforo 1, controlando el acceso a zona de carga.
DP2	Segundo detector del camión.	L2r / L2v	Luces Roja y Verde para semáforo 2, controla salida de zona de carga.

Tabla VI - 1 Descripción de Variables para el Proceso de Carga de Camiones

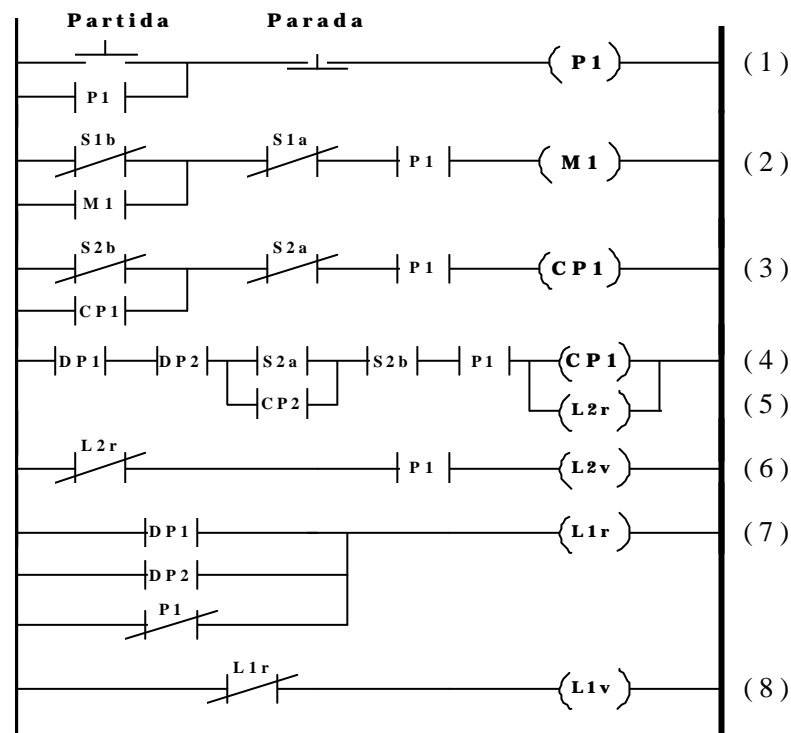


Figura Nro. 6. 22 Diagrama de Escalera para el Control de Carga de Camiones

En este diagrama de escalera (Figura Nro. 6.22) el primer peldaño, controla la partida y parada del proceso en general; en el segundo peldaño, se activa el motor de la correa transportadora, siempre y cuando el primer silo este vacío; en el tercer peldaño, se controla el abrir y cerrar de la trampa para el primer silo, se considera abierta, si el segundo está vacío; en el cuarto y quinto peldaño, se controla el estado de la trampa nro. 2 (abierta o cerrada) y el semáforo nro. 1, si están activados los detectores del camión se abre la trampa nro. 2 y se coloca el semáforo nro. 2 en rojo; en el sexto peldaño, se activa el semáforo nro. 2 en verde, para avisar al chofer del camión que finalizó el proceso de carga; por último, en los peldaños siete y ocho, se controla el cambio de luz roja y verde para el semáforo nro. 1, quién indica a los camiones en espera el estado del proceso, si está en rojo se está cargando, de lo contrario puede pasar.

6.4.6.2 Programación En Instrucciones Lógicas (AWL)

El estilo de programación en un PLC es similar al que se aplica en un computador común y corriente, permitiendo así que un programa pueda ser lineal o estructurado, dependiendo de la complejidad de las tareas a realizar. Si el control es simple, sólo bastaría con programar las instrucciones en un solo módulo, de lo contrario, si se deben resolver tareas de una complejidad mayor, es conveniente dividir el programa en secciones o subrutinas, que permitirá una programación más sencilla y ordenada. Sin embargo, debido a que la capacidad de estos dispositivos es reducida en comparación con un computador, la

profundidad de anidado también es menor y dependerá de las capacidades que ofrezca el dispositivo en particular.

Como la variedad de controladores en el mercado hoy en día es grande y cada uno de ellos posee su propio lenguaje de programación, este trabajo se enfocará al estudio de uno en particular, el cual posee un lenguaje muy sencillo, Step 5, en el que las instrucciones de un programa se presentan como una sucesión de términos mnemotécnicos, siguiendo un formato simple, en el que primero debe ir la dirección relativa de la instrucción en el módulo de programa respectivo, luego la operación a realizar y por último el operando, en el que se define el tipo de variable (Tabla Nro. VI - 2 y VI - 3), la dirección de la palabra y por último el bit dentro de esa palabra, ver siguiente figura.

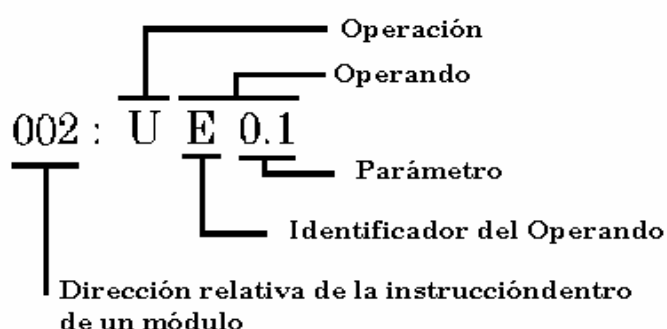


Figura Nro. 6. 23 Formato de Instrucciones

TIPO DE VARIABLE		DESCRIPCION
E	Entrada	Interfaces del proceso al autómata.
A	Salida	Interfaces del Autómata al proceso.
M	Marca	Memorias para resultados binarios intermedios.
D	Dato	Memorias para resultados digitales intermedios.

T	Temporizador	Memorias para realizar temporizaciones.
Z	Contador	Memorias para la realización de contadores.
P	Periferia	Interfaz del proceso al autómata (direccionamiento de las imágenes de proceso de alarmas).
K	Constante	Valores numéricos fijos.
OB,PB,SB,FB,DB		Auxiliares para estructurar el programa (Módulos de software).

Tabla VI - 2 Tipos de Variables

TIPO	FORMATO	OPERANDOS ADMISIBLES
E, A	BI, para operandos con dirección de bit.	E x. y Entradas A x. y Salidas M x. y Marcas
	BY, para operando con dirección de byte.	EB x Byte de entrada AB x Byte de salida MB x Byte de marca DL x Byte de dato, izquierdo DR x Byte de dato, derecho
	W, para operandos con dirección de palabra.	EW x Palabra de entrada AW x Palabra de salida MW x Palabra de marca DW x Palabra de dato
D	KT, para un temporizador KZ, para un contador KH, Valor Hexadecimal	Constantes

Tabla VI - 3 Formato de Variables

Dentro del conjunto de instrucciones que posee este lenguaje, las básicas son de consulta lógica, como se puede ver en la Tabla VI - 4 y en algunos ejemplos dados en las páginas subsiguientes, donde se aprecia claramente su aplicación.

OPERACION	OPERANDOS ADMISIBLES	SIGNIFICADO
O		Combinación del or con otras instrucciones and.
U(Combinación del and con otras instrucciones.
O(Combinación del or con otras instrucciones.
)		Permite cerrar la expresión entre paréntesis.
U	E,A,M,T,Z	Combinación and , consulta por el estado de la señal, siendo verdadero si es "1".
O	E,A,M,T,Z	Combinación or , consulta por el estado de la señal, siendo verdadero si es "1".
UN	E,A,M,T,Z	Combinación not and , consulta por el estado de la señal, siendo verdadero si es "0".
ON	E,A,M,T,Z	Combinación not or , consulta por el estado de la señal, siendo verdadero si es "0".
=	E,A,M,T,Z	Asigna el resultado de la operación actual.

Tabla VI - 4 Operaciones Combinacionales

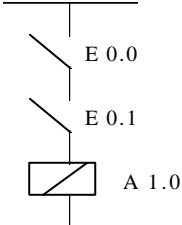
Esquema Eléctrico	A W L	Estado Señal A1.0		
	U E 0.0	E 0.0	E 0.1	A 1.0
		0	0	0
	U E 0.1	0	1	0
		1	0	0
	= A 1.0	1	1	1

Figura Nro. 6. 24 Operación Tipo AND

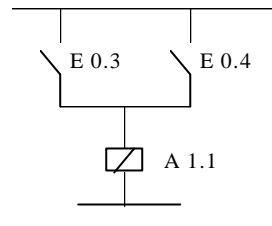
Esquema Eléctrico	A W L	Estado Señal A1.1		
	O E 0.3 O E 0.4 = A1.1	E0.3	E0.4	A 1.1
		0	0	0
		0	1	1
		1	0	1
		1	1	1

Figura Nro. 6. 25 Operación Tipo OR

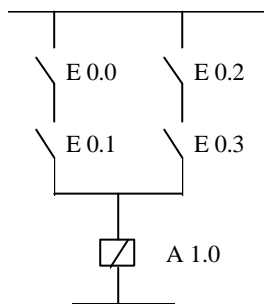
Esquema Eléctrico	A W L	Estado Señal A1.0				
	U E 0.0 U E 0.1 O U E 0.2 U E 0.3 = A1.0	E0.0	E0.1	E0.2	E0.3	A 1.0
		X	X	1	1	1
		1	1	X	X	1
		X = Estado de Señal arbitrario En los restantes casos la señal de A1.0 tiene salida 0.				

Figura Nro. 6. 26 Operación Combinada AND/OR, con And Anidada

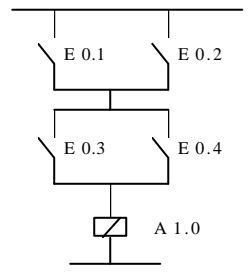
Esquema Eléctrico	A W L	Estado Señal A1.0				
	U(O E 0.1 O E 0.2) U O E 0.3 O E 0.4) = A1.0	E0.1	E0.2	E0.3	E0.4	A 1.0
		1	X	X	1	1
		1	X	1	X	1
		X	1	X	1	1
		X	1	1	X	1

Figura Nro. 6. 27 Ejemplo de Operación Combinada AND/OR, Con OR Anidadas

Una vez definidas las operaciones básicas que posee este lenguaje, es importante también estudiar algunas operaciones específicas que se encargan

del manejo de datos, como carga y transferencia, operaciones de memoria, de tiempo, sobre contadores y por último aritméticas y de comparación.

i. Operaciones de Carga y Transferencia

Estas operaciones permiten intercambiar información entre diferentes zonas de operandos, preparar temporizadores, contadores y cargar valores constantes necesarios en la ejecución del programa. Este movimiento de información se realiza a través de unos registros especializados que posee el controlador denominados acumuladores, que realizan la función de memoria intermedia. La siguiente tabla resume estas operaciones, destacando.

OPERACION	OPERANDO	SIGNIFICADO
L	E, A, M, T, Z	Carga el valor del operando en el acumulador.
T	E, A, M, T, Z	Transfiere el contenido del acumulador a un operando.

Tabla VI - 5 Operaciones de Carga y Transferencia

Es importante destacar que cuando se realiza el proceso de carga, el contenido del acumulador 1 se desplaza al acumulador 2, con ello se pierde la información que tendría este último. Así mismo cuando se transfiere información a una variable el contenido anterior se perdería.

ii. Operaciones de Memoria

Las operaciones que manipulan las variables de memoria se encargan de guardar el estado de una señal de salida, este proceso bien puede ser dinámico,

por simple asignación, o estático, activando y limpiando estas variables. La siguiente tabla resume las operaciones permitidas.

OPERACION	OPERANDO	SIGNIFICADO
S	E,A,M	Activar (poner permanentemente en "1")
R	E,A,M	Borrar (colocar permanentemente en "0")

Tabla VI - 6 Operaciones de Memoria

Teniendo ya definidas las operaciones que trabajan sobre las variables de memoria se dará un ejemplo, en el que se pide controlar la activación de un contacto al presionar un pulsador y desconectarlo con otro. Para esto, el problema será resuelto de dos formas; en una no se utilizará las operaciones de memoria (Figura Nro. 6.28), sin embargo, en otra sí serán necesarias (Figura Nro. 6.29). Con ello se establece claramente cuan útil pueden ser en un determinado problema.

Esquema Eléctrico	A W L
	<pre> U (O E 0.1 O A 1.0) U E 0.0 = A 1.0 </pre>

Figura Nro. 6. 28 Activación/Desactivación de Contactos sin Operaciones de Memoria

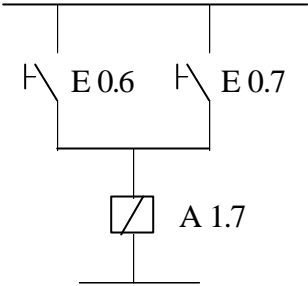
Esquema Eléctrico	AWL	E0.6	E0.7	A 1.7
	U E 0.6	1	0	1
	S A1.7	0	1	0
	U E 0.7	0	0	Sin Variación
	R A1.7	1	1	1

Figura Nro. 6. 29 Activación/ Desactivación de Contactos con Operaciones de Memoria

iii. Operaciones de Tiempo

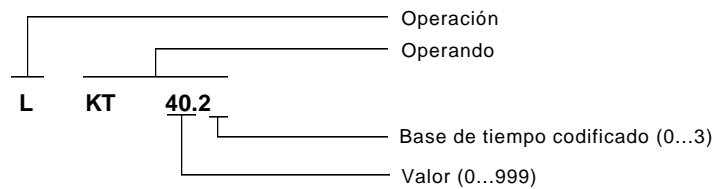
Las operaciones sobre variables de tipo temporizador permiten realizar y vigilar secuencias cronológicas a través de un programa. Para este proceso se llaman a los temporizadores internos ajustándolos previamente. La siguiente tabla lista las diferentes operaciones válidas sobre para estos operandos.

OPERACION	OPERANDOS	SIGNIFICADO
SI	T0... T15	Arranque de una temporización como impulso.
SV	T0... T15	Arranque de una temporización como impulso prolongado.
SE	T0... T15	Arranque de una temporización como retardo a la conexión.
SS	T0... T15	Arranque de una temporización como retardo a la conexión memorizada.
SA	T0... T15	Arranque de una temporización como retardo a la desconexión.
R	T0... T15	Reposición (borrado) de una temporización.

Tabla VI - 7 Lista de Operaciones para Temporizadores

Cabe destacar que al trabajar con variables de este tipo, lo primero que se debe hacer es cargar un valor, el que puede ser una constante (KT), un dato (DW), una entrada (EW), una salida (AW), o bien con una marca (MW).

Por ejemplo, para cargar un temporizador constante, se debe seguir el siguiente esquema:

**Figura Nro. 6. 30 Carga de un Temporizador**

También es importante destacar que al trabajar con temporizadores se tiene una imprecisión igual a la base de tiempos con la que se este trabajando (Tablas Nro. VI - 8 y VI - 9), por ello se recomienda utilizar una que sea lo más reducida posible.

BASE	0	1	2	3
FACTOR	0,01 s.	0,1 s.	1 s.	10 s.

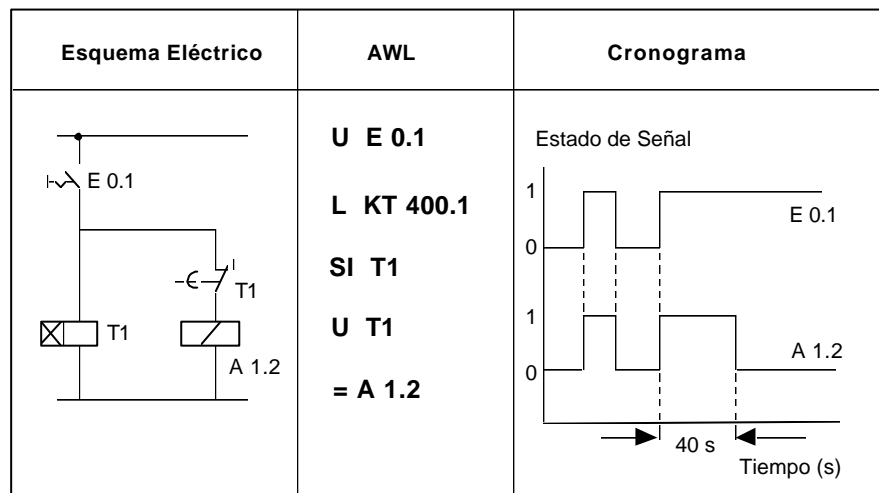
Tabla VI - 8 Clave para Base de Tiempos

OPERANDO	INTERVALO DE TIEMPO	
KT 400.1	400 x 0,1 s. - 0,1 s.	39,9 s. .. 40 s
KT 40.2	40 x 1 s. - 1 s.	39 s. .. 40 s
KT 4.3	400 x 10 s. - 10 s.	30 s. .. 40 s

Tabla VI - 9 Imprecisiones de Tiempo en Temporizadores

A continuación se entregarán algunos ejemplos del uso de temporizadores en los PLC's.

Para el primer ejemplo, se pide activar una salida A 1.2 tan pronto, como la señal de entrada E 0.1 pase de un estado "0" a "1", prolongando el estado de la salida por un máximo de 40 segundos. Figura nro. 6.31.

**Figura Nro. 6. 31 Activación de un Temporizador como Impulso**

En el segundo ejemplo, se debe activar la salida A 4.1 durante 12 segundos, tan pronto, como la señal de la entrada E 3.1 pase a un estado "1". Figura Nro. 6.32.

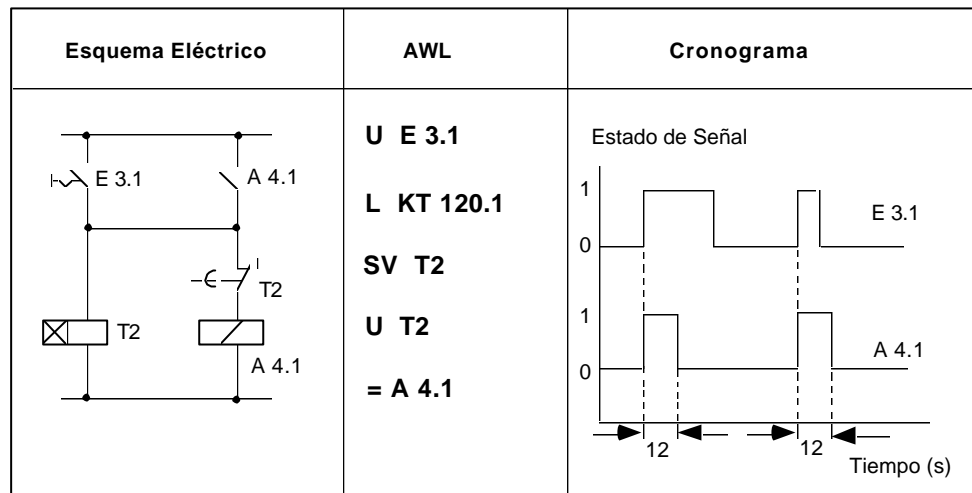


Figura Nro. 6. 32 Activación de un Temporizador como Impulso Prolongado

En el último y tercer ejemplo se desea activar la salida A 4.2, 7 segundos después que la señal de la entrada E 3.5 pase a un estado “1”, siempre y cuando aún ésta permanezca en “1”. Figura Nro. 6.33.

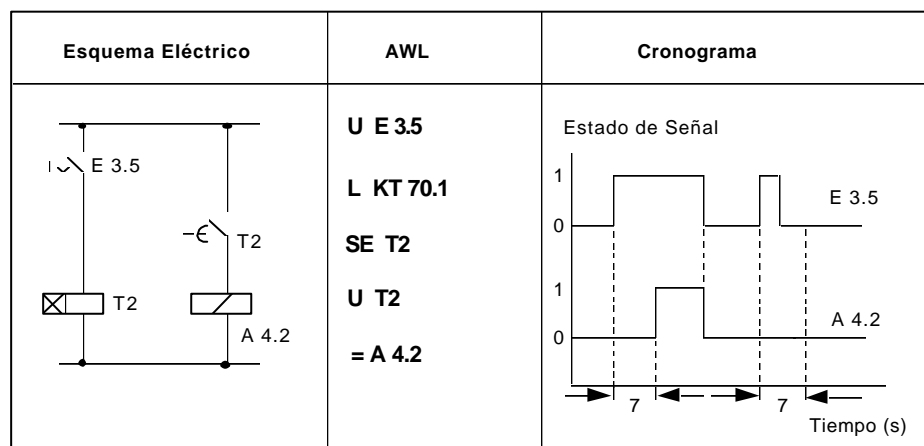


Figura Nro. 6. 33 Activación de un Temporizador con retardo a la conexión

iv. Operaciones de Conteo

Step 5, también maneja variables de tipo contador, las que al igual que las de tipo temporizador deben ser cargados, ya sea, por una constante (KZ), un dato (DW), una entrada (EW), una salida (AW), o bien, por una marca (MW).

Para el manejo de estas variables este lenguaje dispone de cuatro operaciones básicas, las que se describirán a continuación en la Tabla VI - 10, seguido de dos ejemplos que las utilizan.

OPERACION	OPERANDO	SIGNIFICADO
S	Z	Activar un contador
R	Z	Borrar un contador
ZV	Z	Incrementar un contador
ZR	Z	Decrementar un contador

Tabla VI - 10 Operaciones de Conteo

En el primer ejemplo se pide activar un contador ajustándolo al valor 7 y una vez que la entrada E 0.1 pase a un estado “1”, se decrementará el contador cada vez que la entrada E 0.0 cambie de estado de “0” a “1”. La salida A1.0 permanecerá en “1” hasta que el contador alcance el valor “0”. Figura Nro. 6.34.

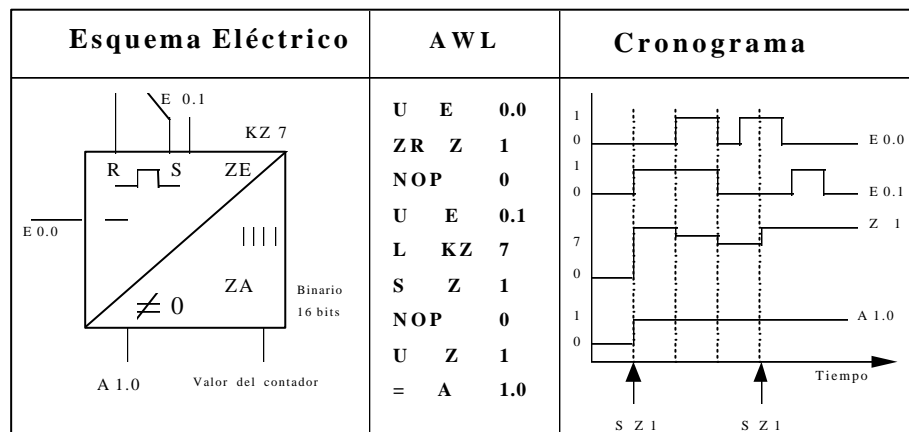


Figura Nro. 6. 34 Activar y Decrementar de un Contador

El segundo ejemplo describe como se realizan las operaciones de reseteo e incremento de un contador. En el programa se limpia el contador cada vez que la

variable de entrada E 0.1 pase a un estado “1” y el incremento dependerá cambio de estado de “0” a “1” de la señal de entrada E 0.0. Figura Nro. 6.35.

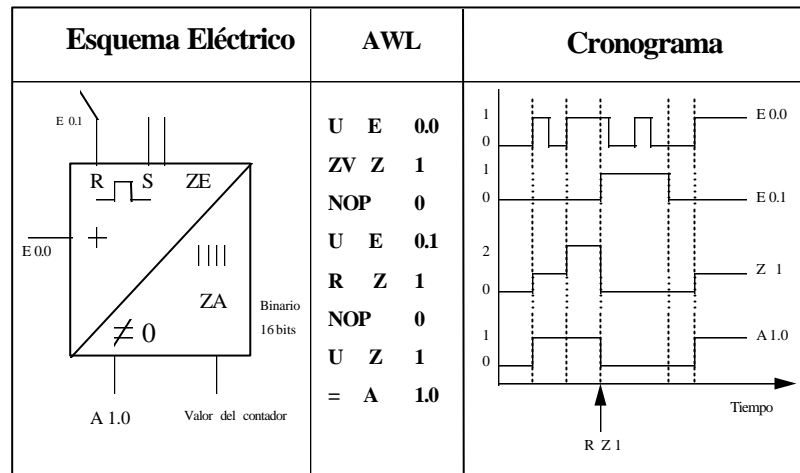


Figura Nro. 6. 35 Resetear e Incrementar de un Contador

v. Operaciones Aritmética y de Comparación

Las aritméticas y de comparación permiten operar aritméticamente, o bien, comparar el contenido de los acumuladores. En las primeras, se maneja el contenido de los acumuladores como números, depositando el resultado en el primer acumulador, modificando así su contenido. A diferencia las operaciones de comparación sólo comparan el contenido de éstos, sin modificarlos. A continuación se listarán las diferentes operaciones de este estilo que posee el lenguaje, seguido de dos ejemplos para una mayor comprensión.

OPERACION	OPERANDOS	SIGNIFICADO
! = F		Comparación respecto a la igualdad.
>< F		Comparación respecto a la desigualdad.
> F		Comparación respecto a la Superioridad .

>= F		Comparación respecto a la Superioridad o Igualdad .
< F		Comparación respecto a la Inferioridad .
<= F		Comparación respecto a la Inferioridad o Igualdad .
+ F		Suma el contenido de ambos acumuladores.
- F		Resta el contenido de ambos acumuladores.

Tabla VI - 11 Operaciones Aritmética y de Comparación

Se debe tener presente que al utilizar esta operación es necesario siempre cargar los acumuladores antes de proceder a ejecutar la operación respectiva.

En el primer esquema, Figura Nro. 6.36, se observa la forma de utilizar las operaciones de comparación, donde se verifica si el valor de dos entradas es igual, activándose la salida A 1.0 siempre y cuando lo sean. Seguido, Figura Nro. 6.37, se procede a utilizar una de las operaciones aritméticas, encargada de sumar el valor de dos contadores, transfiriendo el resultado de esta operación desde el acumulador a una palabra de salida, AW 12.

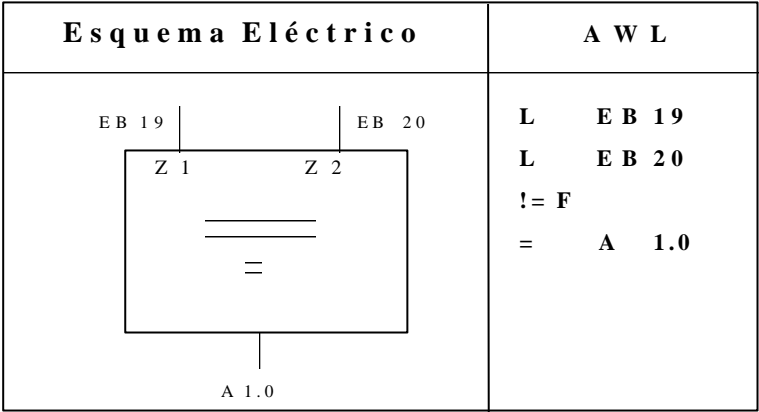


Figura Nro. 6. 36 Operación de Comparación

A W L	Ejemplo Numérico	
<pre>L Z 3 L Z 1 + F = AW 12</pre>	15	0
	876 0 0 0 0 0 0 1 1	0 1 1 0 1 1 0 0 Acc2
	+ 15	0
	668 0 0 0 0 0 0 1 0	1 0 0 1 1 1 0 0 Acc1
	= 15	0
	1544 0 0 0 0 0 1 1 0	0 0 0 0 1 0 0 0 Acc1

Figura Nro. 6. 37 Operación Aritmética

CAPITULO VI ADQUISICION Y DISTRIBUCION DE DATOS 86

6.1	CONVERSIÓN ANÁLOGA/DIGITAL	87
6.1.1	TEORÍA DEL MUESTREO	88
6.1.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS CONVERSORES ANÁLOGOS/DIGITAL	90
6.1.3	TIPOS DE CONVERSORES ANÁLOGO/DIGITAL	91
6.1.3.1	Conversor Tipo Flash	92
6.1.3.2	Conversor de Rampa Unica	93
6.1.3.3	Conversor de Rampa Doble	94
6.1.3.4	Conversor de Aproximaciones Sucesivas	95
6.2	CONVERSIÓN DIGITAL/ANÁLOGA	96
6.2.1	ESTRUCTURA GENERAL DE UN CONVERSOR DIGITAL/ANÁLOGO	96
6.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS CONVERSORES DIGITAL/ANÁLOGO	97
6.2.3	TIPOS DE CONVERSORES DIGITAL/ANÁLOGO	100
6.2.3.1	Conversor Digital/Análogo de Resistencias Ponderadas	101
6.3	TARJETAS DE ADQUISICIÓN	104
6.3.1	ESTRUCTURA BÁSICA PARA TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	104
6.3.2	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE ADQUISICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE DATOS	105
6.3.3	SELECCIÓN DE TARJETA DE ADQUISICIÓN ADECUADA	107
6.3.4	CONFIGURACIÓN E INSTALACIÓN DE UNA TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	110
6.3.4.1	Seteo de Tarjetas de Adquisición de Datos	111

		149
6.3.4.2	Instalación	111
6.3.5	ESTABLECIMIENTO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS PARA REPRESENTACIÓN DE DATOS	112
6.3.6	PROGRAMACIÓN DE LA ADQUISICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE DATOS	113
6.3.6.1	Adquisición de Datos	114
6.3.6.2	Distribución de Datos	115
6.4	CONTROLADORES PROGRAMABLES LÓGICOS, PLC	115
6.4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES	116
6.4.2	FUNCIONES DE UN CONTROLADOR PROGRAMABLE	117
6.4.3	ESTRUCTURA DE LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES	118
6.4.4	DIRECCIONAMIENTO DE VARIABLES EN CONTROLADORES PROGRAMABLES	123
6.4.5	CICLO BÁSICO DE EJECUCIÓN DE UN PROGRAMA	124
6.4.6	PROGRAMACIÓN DE UN CONTROLADOR PROGRAMABLE	126
6.4.6.1	Programación en Diagrama de Escalera (KOP)	126
6.4.6.2	Programación En Instrucciones Lógicas (AWL)	133

Tabla VI - 1 Descripción de Variables para el Proceso de Carga de Camiones	132
Tabla VI - 2 Tipos de Variables	135
Tabla VI - 3 Formato de Variables.....	135
Tabla VI - 4 Operaciones Combinacionales.....	136
Tabla VI - 5 Operaciones de Carga y Transferencia	138
Tabla VI - 6 Operaciones de Memoria.....	139
Tabla VI - 7 Lista de Operaciones para Temporizadores.....	141
Tabla VI - 8 Clave para Base de Tiempos	141
Tabla VI - 9 Imprecisiones de Tiempo en Temporizadores.....	142
Tabla VI - 10 Operaciones de Conteo	144
Tabla VI - 11 Operaciones Aritmética y de Comparación.....	146
Figura Nro. 6. 1 Tratamiento de Señales Análogas	87
Figura Nro. 6. 2 Muestreo Mínimo	89
Figura Nro. 6. 3 Muestreo Mejorado	89
Figura Nro. 6. 4 Conversor Tipo Flash	93
Figura Nro. 6. 5 Conversor Análogo/Digital de Rampa Ubica	94
Figura Nro. 6. 6 Conversor Análogo /Digital Doble Rampa	95
Figura Nro. 6. 7 Conversor de Aproximaciones Sucesivas	86
Figura Nro. 6. 8 Esquema General de un Conversor Digital/Análogo	97
Figura Nro. 6. 9 Error de Ganancia	100
Figura Nro. 6. 10 Conversor Digital/Análogo con Resistencia Ponderada	101
Figura Nro. 6. 11 Conversor Digital/Análogo en Escalera R-2R	103
Figura Nro. 6. 12 Esquema Básico de una Tarjeta de Adquisición de Datos	105

		151
Figura Nro. 6. 13	Componentes de un PLC	119
Figura Nro. 6. 14	Esquema Representativo de un PLC	124
Figura Nro. 6. 15	Esquema de Ejecución de un Programa en un PLC	126
Figura Nro. 6. 16	Representación Gráfica de Entradas	127
Figura Nro. 6. 17	Representación Gráfica de una Salida	128
Figura Nro. 6. 18	Travesaño Tipo AND	128
Figura Nro. 6. 19	Travesaño Tipo OR	128
Figura Nro. 6. 20	Travesaño Tipo Retención	129
Figura Nro. 6. 21	Control de Carga de Camiones	131
Figura Nro. 6. 22	Diagrama de Escalera para el Control de Carga de Camiones	132
Figura Nro. 6. 23	Formato de Instrucciones	134
Figura Nro. 6. 24	Operación Tipo AND	136
Figura Nro. 6. 25	Operación Tipo OR	137
Figura Nro. 6. 26	Operación Combinada AND/OR, con And Anidada	137
Figura Nro. 6. 27	Ejemplo de Operación Combinada AND/OR, Con OR Anidadas	137
Figura Nro. 6. 28	Activación/Desactivación de Contactos sin Operaciones de Memoria	139
Figura Nro. 6. 29	Activación/ Desactivación de Contactos con Operaciones de Memoria	140
Figura Nro. 6. 30	Carga de un Temporizador	141
Figura Nro. 6. 31	Activación de un Temporizador como Impulso	142
Figura Nro. 6. 32	Activación de un Temporizador como Impulso Prolongado	143
Figura Nro. 6. 33	Activación de un Temporizador con retardo a la conexión	143

Figura Nro. 6. 34	Activar y Decrementar de un Contador	144
Figura Nro. 6. 35	Resetear e Incrementar de un Contador	145
Figura Nro. 6. 36	Operación de Comparación	147
Figura Nro. 6. 37	Operación Aritmética	147