

## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 AUTOMATIZACIÓN

Un sistema automatizado es un conjunto de dispositivos que trabajan juntos para ejecutar tareas o fabricar un producto o familia de productos. Los sistemas industriales automatizados pueden ser una máquina o un grupo de máquinas llamadas "celda". Los 4 tipos básicos de dispositivos en una celda son: de producción, de soporte, de control, y de retroalimentación.

#### 2.1.1 DISPOSITIVOS DE PRODUCCIÓN

Se pueden incluir robots, máquinas de control numérico (CNC), máquinas de propósito específico (también llamadas Hard Automation Devices), etc. Los dispositivos de producción le agregan valor al producto. Estos realizan distintas etapas del proceso de manufactura como es el ensamblar, soldar, pintar y otras más que completan la tarea.

#### ROBOTS

Los robots son usados para diversas funciones dentro de la celda, en su mayoría de posicionamiento y de transporte de partes entre dos máquinas. Los robots son muy buenos para las tareas repetitivas, son muy rápidos y precisos. Para cada tarea, los diferentes tipos de robots (eléctricos neumáticos, o hidráulicos) tienen sus propias ventajas.

Los robots neumáticos son buenos para tareas de posicionamiento como mover partes entre otras máquinas. No son muy costosos, son rápidos y precisos, pero no son efectivos en tareas complejas y son muy limitadas en el número de posiciones en las que se pueden mover.

Por su parte los robots eléctricos son rápidos y más precisos, pero son más costosos que los neumáticos.

Los robots hidráulicos son muy buenos para aplicaciones pesadas. Son rápidos y se pueden mover suavemente, algo muy efectivo para aplicaciones de pintura. Son también muy usados en situaciones peligrosas donde chispazos eléctricos puedan causar explosiones.

#### MÁQUINAS CNC

Son máquinas cuyas acciones y movimiento son controladas por una computadora, la cual programa a la CNC con un códigos simples y números. Este tipo de máquinas incluyen tornos y molinos, máquinas de doblado de metales, máquinas láser o de descargas eléctricas para cortar metales, etc.

#### EQUIPO DE SOPORTE

Se incluyen sistemas automáticos de almacenamiento y recuperación (AS/RS), bandas transportadoras, y dispositivos de propósito específico, etc.

Los equipos AS/RS son usados para transportar materia prima, productos en proceso y productos terminados. El uso de computadoras asegura que el producto con más tiempo en el almacén sea usado primero. Un típico sistema AS/RS tiene

3 ejes de movimiento: el eje X que se mueve en toda la planta, el eje Y para movimientos verticales y el eje Z para moverse adentro y afuera y colocar el producto en el almacén.

Las bandas transportadoras son usadas para mover el producto entre celdas y procesos. Gracias a sensores muy simples o lectores de barras, la banda puede llevar el producto al lugar adecuado una vez identificado el tipo de producto presente.

Las máquinas de propósito específico son usualmente diseñadas para realizar una tarea en las que el uso de dispositivos más flexibles incrementaría el costo. Ejemplo de éstas son: las alimentadoras de partes uno a uno, las máquinas para alinear productos, paletizadoras, etc.

---

## EQUIPOS DE CONTROL

Los Controladores de Lógica Programable (PLC) son los controladores más comunes en las celdas de producción, coordinan a todos los demás dispositivos, son el cerebro de la celda. Un PLC es una computadora especialmente diseñada para controlar e integrar otros dispositivos en el proceso y puede ser fácilmente manejada por técnicos<sup>1</sup>. Generalmente se programa en un lenguaje llamado lógica de escalera.

---

## DISPOSITIVOS DE RETROALIMENTACIÓN

La retroalimentación se lleva a cabo a partir de sensores, estos son como los ojos y oídos de la celda. Proveen información de lo que está sucediendo al dispositivo de control.

Los sensores pueden ser tan simples como interruptores ON/OFF o más complejos como los de tipo analógico cuya salida es proporcional a la señal de entrada.

Los más usados son los que no tocan el objeto como son: foto sensores, sensores inductivos y capacitivos, ultrasónicos para medir la distancia al objeto, etc., ya que son más confiables y de lectura más rápida que los sensores mecánicos (interruptores).

Existen otros dispositivos de retroalimentación mucho más complejos, como son los lectores de código de barras o las cámaras y sistemas de visión.

## 2.2 BRAZOS MECÁNICOS

En 1948 Goertz del Argonne National Laboratory desarrolló, el primer telemanipulador, el cual era capaz de manipular elementos radioactivos sin riesgos para el operador, consistía en dos dispositivos mecánicos de los cuales el operador manipulaba el maestro y el esclavo reproducía los movimientos.

En 1954 sustituyen la transmisión mecánica, por una eléctrica y hacen uso de un servocontrol, con lo cual logran el primer telemanipulador con servocontrol bilateral. Después de este desarrollo hubo otros pioneros del tema, tal es el caso de Ralph Mosher, que en 1958 siendo parte del personal de General Electric, desarrolla Handy-Man el cual consistía en 2 brazos mecánicos teleoperados por un maestro del tipo exoesqueleto. Posteriormente la industria submarina, al igual que la industria espacial, se interesarían por esta tecnología.

---

<sup>1</sup> (Mandado Pérez, 2005)

La sustitución de un operador por un programa computacional, el cual se encarga de controlar el manipulador, dio el concepto de robot y de esta manera se empezó el diseño de estas máquinas, que en un principio mantenían configuraciones esférica y antropomórfica, debido a su gran utilidad para la manipulación de objetos.

En no más de 30 años el desarrollo de los robots los ha llevado a tomar un lugar en la mayoría de las áreas productivas, ya que los robots pueden realizar tareas repetitivas, tareas que conlleven un alto grado de precisión, o tareas que se deban realizar en lugares potencialmente peligrosas para un humano, y puede adaptarse inmediatamente a cualquier cambio en dichas tareas.

### 2.2.1 DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ROBOT

Un robot, específicamente el robot industrial, “es una máquina de manipulación automática reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento.”<sup>2</sup>

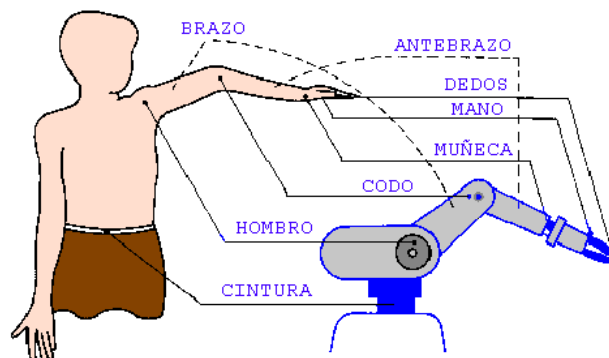
De igual manera, la Federación Internacional de Robótica estableció una clasificación para distinguir los tipos de robots.

Robot secuencial
Robot de trayectoria controlable
Robot adaptativo
Robot tele manipulado

### 2.2.2 ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS DE UN BRAZO MECÁNICO

#### ESTRUCTURA

Todo brazo robótico está constituido por eslabones unidos mediante articulaciones las cuales permiten el movimiento de dos eslabones consecutivos. Usualmente se hace una analogía con las extremidades superiores del cuerpo humano, de esta forma, como se observa en la Figura 2.1, cada eslabón tiene su homólogo con la estructura humana, por lo tanto para hacer referencia a los distintos elementos del brazo robótico se usan términos como cintura o cadera, hombro, codo, muñeca, etc.



<sup>2</sup> (Barrientos, 2007)

Figura 2.1. Analogía entre extremidad humana y brazo robótico industrial.

Para el movimiento de las articulaciones existe la posibilidad de deslizamiento o rotación, lo cual permite crear diferentes tipos de articulaciones con alguno de los movimientos mencionados o alguna mezcla de ambos como se muestra en la Figura 2.2, aunque las articulaciones más empleadas son las rotacionales y las prismáticas.

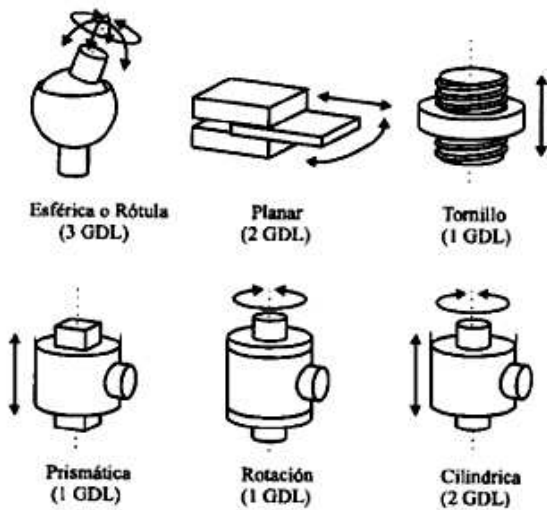


Figura 2.2. Tipos de articulaciones robóticas. (Barrientos, 2007)

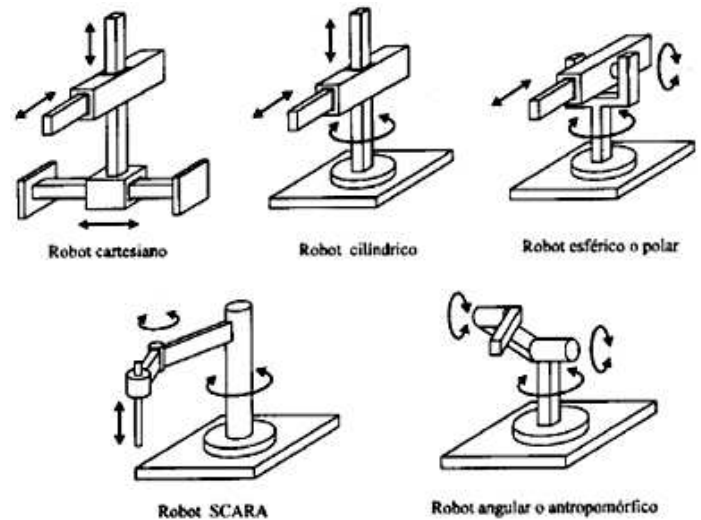


Figura 2.3. Configuraciones robóticas usadas en la industria. (Barrientos, 2007)

La mezcla de los diferentes tipos de articulaciones da lugar a diferentes configuraciones para los brazos robóticos, en la Figura 2.3 se muestran algunas de las configuraciones más usadas en la industria.

Con tales configuraciones se da lugar a los diferentes tipos de robot manipuladores, los cuales se clasifican a partir de su estructura cinemática, tomando en cuenta sus tres primeras articulaciones.

**Antropomórficos (RRR).** Sus tres articulaciones son de rotación.

**Esféricos (RRP).** Posee dos articulaciones de rotación y una prismática.

**SCARA (RRP).** Cuenta con dos articulaciones de rotación y una prismática.

**Cilíndricos (RPP).** Posee dos articulaciones primaticas y una rotacional.

**Cartesianos (PPP).** Posee tres articulaciones prismáticas.

## ACTUADORES

Los elementos motrices que generan el movimiento de las articulaciones pueden ser eléctricos, hidráulicos o neumáticos. Los hidráulicos son los más empleados a la hora de manipular grandes cargas pero tienen un alto precio, mientras que los neumáticos dan una rápida respuesta a un bajo costo, por último los eléctricos cubren las necesidades de poco y mediano peso, además de que son muy empleados en la robótica por su alto control en la precisión de los movimientos. La **Tabla 2.2** muestra las características, ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de actuadores mencionados.

Tabla 2.2. Características de los tipos de actuadores para robots			
	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
<b>Energía</b>	Aire a presión	Aceite Mineral	Corriente Eléctrica
<b>Opciones</b>	Cilindros Motor de paletas Motor de pistón	Cilindros Motor de paletas Motor de pistones axiales	Corriente continua Corriente alterna Motor paso a paso
<b>Ventajas</b>	Precio Rapidez Sencillez Robustez	Rapidez Relación potencia-precio Autolubricantes Capacidad de carga Estabilidad frente a cargas estáticas	Precisión Fiabilidad Facilidad de control Sencilla instalación
<b>Desventajas</b>	Difícil de controlar Instalación Especial	Difícil Mantenimiento Instalación especial Fugas Precio	Potencia limitada

## TRANSMISIONES

Son los elementos encargados de trasladar el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones, dentro de estos elementos se consideran los reductores acoplados a los motores. Debido a la importancia de querer reducir los momentos inerciales del manipulador, y de que los pares estáticos a vencer por los actuadores dependen directamente de las distancias de las masas al actuador, se intenta poner los actuadores cerca de la base del robot, lo cual lleva al uso de transmisiones en especial para las articulaciones más alejadas de la base del robot.

En la Tabla 2.3 se muestran las transmisiones para robots así como sus principales ventajas y desventajas.

Tabla 2.3. Sistemas de transmisión para robots			
Entrada-Salida	Denominación	Ventajas	Desventajas
<b>Circular-Circular</b>	Engranés	Pares altos	Holguras
	Banda dentada	Grandes distancias	-
	Cadena	Grandes distancias	Ruido
	Cable	-	Deformabilidad
<b>Circular-Lineal</b>	Tornillo sinfín	Poca Holgura	Rozamiento
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento
<b>Lineal-Circular</b>	Cremallera	Holgura Media	Rozamiento

## SENSORES

Para que un robot lleve a cabo las tareas establecidas, es necesario que en todo momento sepa la posición tanto de sus motores, como de su efector final. Esto se logra mediante los sensores internos que en todo caso van relacionados con el movimiento de los motores de cada articulación, en la **Tabla 2.4** se muestran los diferentes tipos de sensores.

**Tabla 2.4. Tipos de sensores internos para robots.**

<b>Presencia</b>	Inductivo	
	Capacitivo	
	Efecto Hall	
	Óptico	
	Ultrasonido	
<b>Posición</b>	Analógicos	Potenciómetros
		Sincro
		Inductosyn
		LVDT
	Digitales	Encoder absoluto
	Encoder incremental	
<b>Velocidad</b>	Tacogenerador	

## EFECTOR FINAL

Los efectores finales son los encargados de llevar a cabo la tarea, en sí estos son los que tienen contacto directo con el área de trabajo y los elementos existentes en ella. Los más usados son los dispositivos de sujeción entre los cuales destacan las pinzas, ventosas, ganchos, imanes, etc. De igual manera se pueden acoplar otros tipos de herramientas como son pinza para soldar, soplete, cucharón, atornillador, fresadora, pistola de pintura, cañón laser, cañón de agua a presión, etc. En estos efectores finales es común usar un sensor que indique si está activa la herramienta, o si está abierta o cerrada en el caso de las pinzas, así como algunos otros sensores como pueden ser sistemas de visión, sensores de presión, etc.

## CARACTERÍSTICAS

La estructura de la mayoría de los robots permite establecer ciertas características indistintas para todos los brazos robóticos, las cuales son explicadas a continuación:

1. **Cadena cinemática.** Es la estructura de los eslabones del robot.
2. **Grado de Libertad (GDL).** Es el movimiento independiente que existe entre dos eslabones consecutivos del robot, por lo que dichos parámetros están relacionados con la suma de los grados de libertad existentes en cada articulación del robot. En la Figura 2.2 se observa el número de grados de libertad que tiene cada tipo de articulación.

De este modo el número de grados de libertad indica la flexibilidad del efector final a la hora de posicionarse. A lo largo de la historia de los brazos robóticos se ha visto que son necesarios 6 grados de libertad (3 para posición y 3 de orientación) para alcanzar cualquier punto dentro del espacio de trabajo, dentro de la industria éste es el patrón seguido por la mayoría de los robots. Aunque también existen robots con un mayor número de grado los cuales son usados cuando existen obstáculos dentro de su área de trabajo. De igual forma se puede prescindir de ciertos GDL existiendo brazos de 4 ó 5 libertades cuando la tarea demanda movimientos más restringidos.

3. **Espacio de trabajo.** Está definido por el número de grados de libertad así como por las dimensiones y forma de los eslabones que constituyen al robot, considerando las limitantes del movimiento impuestas por el controlador. Para el cálculo del espacio de trabajo no se debe considerar la herramienta conectada a la

muñeca ya que en caso de ser cambiada es necesario volver a calcular dicho espacio. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 2.4 donde se observa el espacio de trabajo de un robot ROCCO.

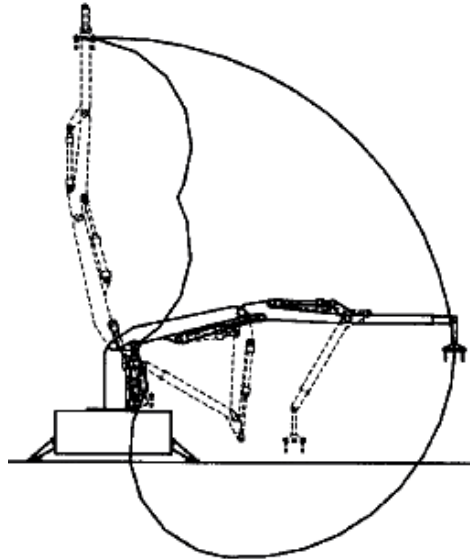


Figura 2.4. Espacio de trabajo de un robot ROCCO. (Barrientos, 2007)

#### REPETIBILIDAD, PRECISIÓN Y RESOLUCIÓN.

---

El gran desarrollo y uso de los robots en la industria se debe a su capacidad de posicionarse en el espacio indicado teniendo muy poco error, para el cálculo de dicho error se debe tener en cuenta los siguientes parámetros.

**Precisión.** Mide la distancia existente entre la posición deseada y la posición real del efector final del robot.

**Repetibilidad.** Es la capacidad del robot para llegar al mismo punto tantas veces como sea necesario, cabe mencionar que para este parámetro no se considera si el punto al que llega es el punto que se especificó, solamente se toma en cuenta la posición real y si ésta es consistente en cada movimiento.

**Resolución.** Mínimo movimiento del efector final que se puede efectuar desde el controlador.

En la Figura 2.5 se muestra gráficamente cada uno de los 3 parámetros.

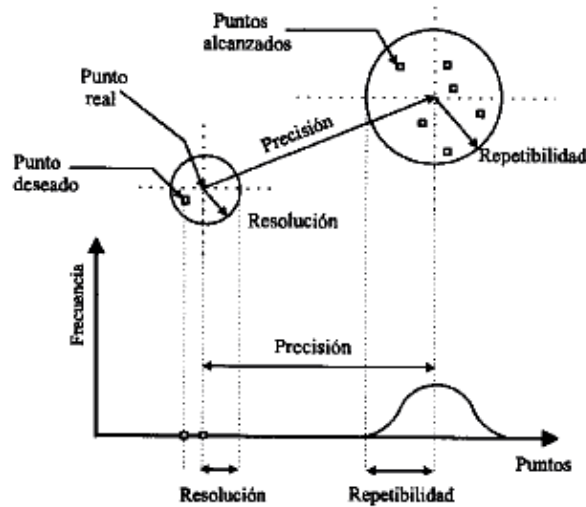


Figura 2.5. Representación gráfica de resolución, precisión y repetibilidad. (Barrientos, 2007)

Además se tienen los parámetros de velocidad y capacidad de carga los cuales son inversamente proporcionales. La velocidad es usada para el cálculo de los tiempos de ciclo, aunque muchas veces dicha velocidad no es alcanzada ya que el brazo hace movimientos cortos y rápidos.

Para la capacidad de carga se debe tomar en cuenta el peso de la herramienta y del objeto a mover, teniendo en cuenta que para un mayor peso la velocidad del manipulador disminuirá.

### 2.2.3 CONTROL

El objetivo del control se divide en dos áreas, el control cinemático y el control dinámico, así pues el control cinemático se lleva a cabo para establecer trayectorias que serán reproducidas por cada una de las articulaciones del robot para lograr en conjunto una trayectoria del manipulador con un fin en específico. Para la creación de dichas trayectorias se debe tomar en cuenta las limitantes físicas del robot, así como las posibles limitantes dentro de su área de trabajo. De igual manera se debe considerar el uso que se le dará a dicha trayectoria a cada momento para así poder establecer los instantes en los que se necesite mayor precisión o una fineza en cuanto a sus movimientos. Por otra parte, para el control dinámico su objetivo es, dadas las trayectorias establecidas por el control cinemático, seguirlas lo más fielmente posible, ya que por variables tales como son fricción e inercia, el movimiento del robot se ve afectado, esta diferencia entre el movimiento establecido y el movimiento real es la que se intenta minimizar usando el modelo dinámico del robot y las herramientas de la teoría de control.



## 2.3 CONTROLADORES DE LÓGICA PROGRAMABLE (PLC)

### INTRODUCCIÓN

Los Controladores de Lógica Programable (PLC) o autómatas programables, “son una computadora industrial para la cual tanto su software como su hardware han sido adaptados para soportar las condiciones críticas de un ambiente industrial”<sup>3</sup>. Un PLC está compuesto en esencia por los mismos elementos que una PC, como los siguientes:

Consta de entradas las cuales pueden estar conectadas a varios tipos de dispositivos; también cuenta con salidas, estas dos partes así como la interfaz de programación que en muchos casos es una PC o un panel de programación, son las partes del PLC que interactúan con el humano, y mediante las cuales, la Unidad Central de Procesamiento (CPU) toma decisiones de lo que debe hacer.

Así, un PLC consta de:

- Módulos de entradas y salidas de señales discretas y analógicas así como módulos de entradas y salidas especiales. Estos módulos llevan conectados en las entradas sensores o interruptores, en las salidas arrancadores de motores, luces indicadoras ó válvulas y los módulos especiales llevan a cabo determinados procesos de la información que reciben, por ejemplo el conteo de pulsos eléctricos.
- Cuenta con módulo de procesamiento de comunicaciones para establecer una conexión con sistemas externos, tales como otros PLC, computadoras, interfaces hombre-máquina.
- Posee una unidad de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria E<sup>2</sup>PROM y memoria flash.

### CARACTERÍSTICAS

Para seleccionar un PLC es necesario tomar en cuenta ciertas características las cuales se indican a continuación.

#### UNIDAD CENTRAL

El CPU consta de uno o varios microprocesadores, de igual manera que una microcomputadora, así pues el CPU ejecuta el sistema operativo, controla la memoria, monitorea las entradas, evalúa su lógica y enciende las salidas apropiadas, además controla las comunicaciones con dispositivos externos. Dado el gran ruido eléctrico que se puede llegar a producir en un ambiente industrial, el cual puede ser generado por motores, cableados, máquinas de soldar y lámparas fluorescentes, los PLC están fuertemente aislados para evitar que se vean afectados por estas condiciones, y como medida precautoria el PLC crea rutinas de chequeo de la memoria para asegurarse de que la información grabada en el no ha sido modificada por dicho ruido, ésta sería la mayor diferencia entre un CPU de un PLC y un CPU de una computadora convencional

#### CAPACIDAD DE MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS

Es el número de posiciones de las memorias de instrucción y de datos que es capaz de analizar seguidamente, esto es, la capacidad de analizar simultáneamente las entradas y salidas.

---

<sup>3</sup> (Mandado Pérez, 2005)

## CAPACIDAD DE ENTRADAS Y SALIDAS DIGITALES

Se define como el número máximo de variables de entradas y salidas digitales que puede manejar un PLC. Siemens tiene una clasificación de sus autómatas programables, dejando como gama baja a la familia S7-200 los cuales tienen entre 6 y 24 entradas digitales y de 4 a 16 salidas digitales; la gama media comprende a la familia S7-300 las cuales poseen un número de variables de entradas/salidas entre 128 y 1024; por último, en la gama alta se tiene a la familia S7-400 en la cual se maneja un número de señales de variables de entrada/salida comprendido entre 32,768 y 131,056.

## MODULARIDAD DE ENTRADAS Y SALIDAS

Es un concepto que hace referencia a la característica de un sistema que le permite ampliar sus capacidades al añadir módulos sin necesidad de modificar o anular los existentes, en el ámbito de los PLC esto se refiere a su capacidad de agregar módulos de entradas/salidas ya sean discretas o analógicas.

Usando este concepto se tiene una clasificación de tres tipos de autómatas:

- **AUTÓMATAS PROGRAMABLES TOTALMENTE MODULARES.** Son aquellos cuya unidad central no tiene módulos fijos, sino que se conectan los módulos necesarios dependiendo de la aplicación.
- **AUTÓMATAS PROGRAMABLES SEMI-MODULARES.** Estos cuentan en su unidad central con un módulo de entradas y salidas fijo, pero prevén la posibilidad de agregar algún módulo para aumentar las capacidades del PLC.
- **AUTÓMATAS PROGRAMABLES COMPACTOS O NO MODULARES.** Son los PLC que en su unidad central contienen un número determinado y fijo de terminales, y sin capacidad de agregar módulos para aumentar sus capacidades.

## CAPACIDAD DE INTERRUPCIÓN

Dado que los PLC llevan a cabo una lectura de sus entradas para el posterior manejo de salidas, esto limita bastante el uso de dichos dispositivos como máquinas en tiempo real, opto por usar las interrupciones que posee el microprocesador. Una interrupción se ejecuta cuando un suceso específico se presenta, con lo cual el PLC deja de realizar su tarea actual, para pasar a ejecutar alguna subrutina una vez terminada dicha subrutina el autómata sigue ejecutando la tarea que había dejado pendiente.

Existen varios tipos de interrupción, de las cuales las más usadas son:

- De reloj
- Temporizadas
- De contador
- De comunicación
- De terminales o bornes

## INTERFAZ MÁQUINA –USUARIO

En algunos casos cuando se tiene un control de una máquina compleja, el operador debe proveer cierta información al PLC así como recibir el estado del proceso, o de algunas de sus variables, mientras se está ejecutando. En este caso se hace uso de una interfaz humano-máquina (HMI), entre las que destacan los paneles de operación (OP) los cuales cuentan con una pantalla o display y un teclado; así como los paneles táctiles (TP), los cuales cuentan con un display el cual posee sensores sensibles al tacto, con lo cual se elimina el teclado.

De esta forma un esquema completo de un PLC y sus componentes se muestra en la Figura 2.6.

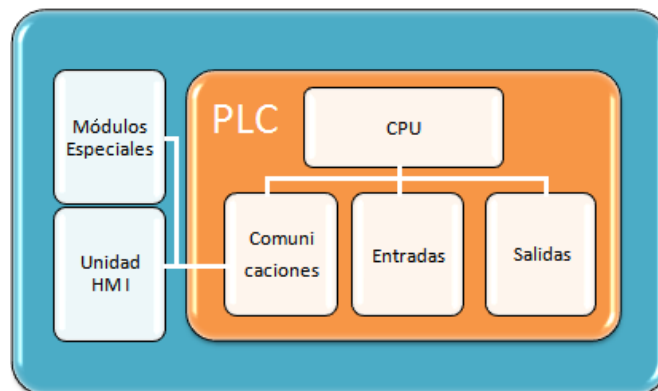


Figura 2.6. Esquema de un PLC con sus componentes fijos y opcionales.

## LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

El lenguaje de programación típico de los autómatas programables se denomina lenguaje de escalera. En específico, Siemens desarrolló el sistema STEP7, dentro del cual se usan los siguientes lenguajes de programación

- **Lenguaje de lista de instrucciones (AWL).** Consiste en un conjunto de códigos simbólicos, cada uno corresponde a una o más operaciones o instrucciones, este lenguaje se aproxima mucho al lenguaje ensamblador usado en los microprocesadores.
- **Lenguaje de esquema de contactos o diagrama de escalera (KOP).** Recibe este nombre porque la tarea que debe realizar se representa gráficamente mediante un esquema de contactos. Este lenguaje es usado para:
  - Facilitar el cambio de un sistema de control realizado con relevadores
  - Hacer más fácil el diseño de sistemas sencillos de control.

Se caracteriza por representar las variables de entradas y salidas mediante contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados.

- **Lenguaje de diagrama de funciones (FUP).** Es un lenguaje simbólico en el cual las diferentes variables y operaciones se combinan mediante símbolos de compuertas lógicas.

## 2.4 MICROCONTROLADORES

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Anteriormente los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon microprocesadores rodeados de chips de memoria y Entradas / Salidas sobre un circuito impreso.

Un microcontrolador es, en esencia, un circuito integrado de alta escala de integración que conjunta dentro del encapsulado las unidades principales de una computadora: Unidad Central de Procesos, memoria RAM, memoria ROM, líneas de E/S, puerto serial o paralelo, timer, convertidores analógico/digital (A/D) y digital/analógico (D/A) etc.

Una ventaja además de su cualidad de guardar y ejecutar programas que lo hacen versátil, es que al ser un sólo circuito es fácil de integrar a diseños electrónicos grandes.

### 2.4.1 ARQUITECTURA BÁSICA

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard. La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura Harvard, como se muestra en la Figura 2.7, dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.



Figura 2.7. La arquitectura Harvard. (Angulo Usategui, 2003)

### 2.4.2 ¿QUÉ MICROCONTROLADOR EMPLEAR?

A la hora de escoger el microcontrolador a emplear en un diseño concreto hay que tener en cuenta multitud de factores, como la documentación y herramientas de desarrollo disponibles así como su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.):

- **Costos.** Para un fabricante que usa un microcontrolador en su producto, una diferencia de precio en el microcontrolador es importante (el consumidor debe pagar además el costo del circuito integrado, el de los otros componentes, el diseño del hardware y el desarrollo del software). Si se desea reducir el costo es necesario tener en cuenta las herramientas de apoyo con las que se cuentan: emuladores, simuladores, ensambladores, compiladores, etc.

- **Aplicación.** Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:
  - Procesamiento de datos. Puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso se debe seleccionar un dispositivo suficientemente rápido para ello. Por otro lado, se necesita tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario recurrir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de punto flotante. Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar bibliotecas para manejar los datos de alta precisión.
  - Entrada/Salida. Para determinar las necesidades de Entrada/Salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos de hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado para el sistema.
  - Consumo. Algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador se encuentre en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.
  - Memoria. Para detectar las necesidades de memoria de alguna aplicación se requiere separar en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (E<sup>2</sup>PROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración.

En cuanto a la cantidad de memoria necesaria puede ser imprescindible realizar una versión preliminar, aunque sea en pseudo-código, de la aplicación y a partir de ella realizar una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es necesaria y si es conveniente disponer de memoria no volátil modificable.

- Ancho de palabra. El criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción importante en los precios, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado precio, deben reservarse para aplicaciones que requieran sus altas prestaciones (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado).
- Diseño de la placa. La selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de circuitos. Debe tenerse en cuenta que quizá usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño.