

## **CAPITULO III. Automatización Programable**

La automatización programable es aquella en la cual la maquinaria de producción tiene la capacidad de cambiar los pasos de procesamiento, y su secuencia, a fin de producir diferentes estilos de productos. En la automatización programable, un programa controla el proceso mediante un conjunto de instrucciones codificadas que el equipo puede leer e interpretar. Los cambios en el proceso se hacen modificando el programa. Las características de esta forma de automatización incluyen velocidades y cantidades de producción bajas, además de flexibilidad para alojar cambios en la configuración de los productos. Entre los tipos de automatización programable de amplio uso en la industria se tienen: el control numérico y la robótica industrial.

### **3.1 Control Numérico**

El Control Numérico (CN) es un ejemplo de automatización programable, diseñado para adaptarse a las variaciones en la configuración de los productos, en la cual una máquina se controla a través de números, letras y otros símbolos. Estos números, letras y símbolos están codificados en un formato apropiado para definir un programa de instrucciones para desarrollar una tarea concreta. Cuando la tarea en cuestión cambia, se cambia el programa de instrucciones. La capacidad de cambiar el programa hace que el CN sea apropiado para volúmenes de producción bajos o medios, dado que es más fácil escribir nuevos programas que realizar cambios en las maquinarias.

La aplicación del control numérico abarca gran variedad de procesos, divididos en dos categorías: aplicaciones con máquina herramienta, tales como el taladrado, laminado, torneado, etc., y aplicaciones sin máquina herramienta, tales como el ensamblaje, trazado e inspección. El principio de operación común de todas es el control de la posición relativa de una herramienta con respecto al objeto a procesar.

#### **3.1.1 Necesidades del Control Numérico**

El Control Numérico se introdujo en los procesos de fabricación por las siguientes razones básicas:

- Fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- Obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Fabricar productos a bajos precios.
- Mayor exigencia en la precisión.
- Mayor flexibilidad en las estructuras de producción.
- Menor tiempo de entrega de los productos.
- La formación de mano de obra calificada es más difícil, pues se hace necesario personal cada vez más experimentado.

### 3.1.2 Definición de Control Numérico

Existen diversas definiciones de lo que es un control numérico (CN) entre las que se pueden citar las siguientes:

- Es todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas a partir de las instrucciones codificadas en un programa.

- Es todo dispositivo que realiza una acción mediante números, haciendo que las máquinas desarrollen su trabajo automáticamente mediante la introducción en su memoria de un programa en el que se definen las operaciones a realizar por medio de combinaciones de letras y números.

- Son sistemas que, en base a una serie de instrucciones codificadas (programa), gobiernan todas las acciones de una máquina o mecanismo al que le ha sido aplicado, haciendo que éste desarrolle una secuencia de operaciones y movimientos en el orden previamente establecido por el programador.

De todo ello se deduce que los dos elementos básicos de un sistema de control numérico son: 1) el programa, que contiene la información precisa para que se desarrollen las tareas, se escribe en un lenguaje especial (código) compuesto por letras y números, y se graba en un soporte físico, o se envía directamente al control, y 2) el control numérico (CN), que debe interpretar las instrucciones contenidas en el programa,

convertirlas en señales que accionen los dispositivos de las máquinas y comprobar su resultado.

El control numérico puede aplicarse a una gran variedad de máquinas, entre las que se pueden citar: tornos, fresadoras, centros de mecanizado, taladradoras, punteadoras, mandrinadoras, rectificadoras, punzonadoras, dobladoras, plegadoras, prensas, cizallas, máquinas de electroerosión, máquinas de soldar, máquinas de oxicorte, máquinas de corte por láser, plasma, chorro de agua, etc., trazadores, máquinas de bobinar, máquinas de medir por coordenadas, robots y manipuladores.

### 3.1.3 Arquitectura General de un Control Numérico

En cualquier equipo de CN se pueden distinguir cuatro subconjuntos funcionales: Unidad de entrada – salida de datos, Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes, Unidad de cálculo y servomecanismos.

- Unidad de entrada – salida de datos. Sirve para introducir los programas en el equipo de control numérico, utilizando un lenguaje inteligible para éste.
- Unidad de memoria interna e interpretación de órdenes. Almacena no sólo el programa sino también los datos de la máquina y las compensaciones (aceleración y desaceleración, compensaciones y correcciones de la herramienta, etc.). Son los llamados datos de puesta en operación.
- Unidad de cálculo. Se encarga de crear el conjunto de órdenes que serán utilizadas para gobernar la máquina. Por lo tanto, una vez el programa se encuentra en memoria, se inicia su ejecución. El control lee un número de bloques necesarios para la realización de un ciclo de trabajo y los interpreta.
- Servomecanismos. La función principal de un control numérico es gobernar los motores (servomotores) de una máquina, los cuales provocan un desplazamiento relativo entre el útil y la pieza situada sobre la mesa.

### 3.1.4 Clasificación de los Controles Numéricos

Debido a las diferencias que existen entre las máquinas que son susceptibles de ser gobernadas por un CN, a las dificultades técnicas en el diseño de los controladores y

a condicionantes de tipo económico, han aparecido diversos tipos de CN que pueden clasificarse de cinco maneras:

a. Según el sistema de referencia.

Para programar los sistemas de CN es necesario establecer un sistema de referencia estándar en el que puedan ser especificadas las diferentes posiciones relativas con respecto al trabajo a realizar. Fijando la pieza a una mesa de trabajo mientras que la máquina se mueve en torno a ella, se define el sistema de referencia con respecto a la mesa de trabajo, facilitando con ello las labores de programación.

El propósito de los sistemas de referencia es localizar la herramienta en relación con la pieza. Dependiendo del tipo de CN el programador puede tener varias opciones para especificar esta localización. En el caso de sistemas de referencia fijos, el origen siempre se localiza en la misma posición con respecto a la mesa de trabajo. Normalmente, esta posición es la esquina inferior de la izquierda de la mesa de trabajo y todas las posiciones se localizan a lo largo de los ejes XY positivos y relativos a ese punto fijo de referencia. En el caso de sistema de referencia flotante, más común en las modernas máquinas de CN, permiten que el operador fije el origen del sistema en cualquier posición de la mesa de trabajo. A esta característica se le llama origen flotante. El programador es el que decide donde debe estar situado el origen. Esta decisión corresponde a la conveniencia de la parte de programación. Por ejemplo, si la pieza a trabajar puede tener una simetría, convendría situar el origen en el centro de la misma. La localización de esta referencia se realiza al principio de la tarea, el operador mueve la herramienta mediante control manual al punto que se desea como origen del sistema de referencia y presiona un botón indicándole a la máquina que en ese punto se encuentra el origen.

b. Según el control de las trayectorias.

Si se clasifica según el tipo de control de trayectorias se tienen tres tipos de CN distintos (punto a punto, paraxial y de contorneado):

- El CN punto a punto. Controla únicamente el posicionamiento de la herramienta en los puntos donde debe ser efectuada una operación realizando los desplazamientos en vacío según trayectorias paralelas a los ejes o a 45 grados sin ninguna coordinación entre los sistemas de mando de cada uno. Se

utiliza fundamentalmente en máquinas taladradoras, punzonadoras, punteadoras y en algunas mandrinadoras. La coordinación entre ejes no es necesaria porque lo importante es alcanzar un punto dado en el mínimo tiempo y con la máxima precisión posible. La operación no comienza hasta que se han alcanzado todas las cotas en los diversos ejes para dicho punto. El camino seguido para ir de un punto a otro no importa con tal de que no existan colisiones.

- Control numérico paraxial. El CN paraxial permite controlar la posición y trayectoria durante la operación del elemento desplazable, siempre que esta última sea paralela a los ejes de la máquina y, en algunos casos, a 45 grados. En principio es aplicable a cualquier tipo de máquina si bien su uso en la práctica se reduce al gobierno de taladradoras y fresadoras.
- Control numérico de contorneado. El CN de contorneado o continuo fue el primero en aparecer para después quedar en un segundo plano frente a los sistemas punto a punto y paraxiales, para posteriormente, con los avances en la tecnología electrónica e informática, desplazar a los otros dos sistemas siendo el más utilizado en la mayor parte de las máquinas.

Los sistemas CN de contorneado controlan no sólo la posición final de la herramienta sino el movimiento en cada instante de los ejes y coordinan su movimiento usando técnicas de interpolación lineal, circular y parabólica. La denominación de continuo viene dada por su capacidad de un control continuo de la trayectoria de la herramienta durante la operación, y de contorneado por la posibilidad de realizar trayectorias definidas matemáticamente de formas cualesquiera obtenidas por aproximación. Este tipo de control se aplica a tornos, fresadoras, centros de mecanizado y, en general, a cualquier tipo de máquina que deba realizar operaciones según una trayectoria más o menos compleja.

- c. Según el tipo de accionamiento.

Según el tipo de accionamiento pueden ser: hidráulicos, eléctricos o neumáticos.

d. Según el bucle de control.

El control del sistema se puede realizar de dos formas: en bucle cerrado o en bucle abierto.

En los de lazo abierto, las órdenes a los motores se envían a partir de la información suministrada por la unidad de cálculo, y el servomecanismo no recibe ninguna información ni de la posición real de la herramienta ni de su velocidad. No así en un sistema de lazo cerrado, donde las órdenes suministradas a los motores dependen a la vez de las informaciones enviadas por la unidad de cálculo y de las informaciones suministradas por un sistema de medidas de la posición real por medio de un captador de posición (generalmente un encoder), y uno de medida de la velocidad real (tacómetro), montados ambos sobre la máquina.

e. Según la tecnología de control.

Se tienen tres tipos de CN según la forma física de realizar el control:

- Control Numérico Directo (CND). La denominación de Control Numérico Directo se utiliza para designar aquellos controles donde cada una de las funciones que realiza el control son implementadas por un circuito electrónico específico únicamente destinado a este fin, realizándose la interconexión entre ellos con lógica cableada. Sus características principales son las de trabajar sin memoria, con un programa que se ejecuta de forma secuencial.
- Control Numérico Computerizado (CNC). El tipo de controles basados en circuitos específicos y lógica cableada (CND) ha caído en desuso con la aparición de los Controles Numéricos Computerizados (CNC), basados en el uso de uno o varios microprocesadores que sustituyen a los circuitos de lógica cableada de los sistemas CND, poco fiables y de gran tamaño. Los CNC incluyen una memoria interna de semiconductores que permite el almacenamiento del programa pieza, de los datos de la máquina y de las compensaciones de las herramientas. Por otra parte, incorporan un teclado que facilita la comunicación y el grado de interactividad con el operario, permitiendo la ruptura de la secuencia de los programas, la incorporación de subrutinas, los saltos condicionales y la programación paramétrica. De esta

forma, se facilita una programación más estructurada y fácil de aprender. Se trata de equipos compactos con circuitos integrados, lo que aumenta el grado de fiabilidad del control, y permite su instalación en espacios reducidos y con un nivel de ruido elevado. Actualmente, todos los controles que se fabrican son del tipo CNC, quedando reservado el término CN para una referencia genérica sobre la tecnología, de tal forma que se utiliza la denominación CN (Control Numérico) para hacer referencia a todas las máquinas de control numérico, tengan o no computador.

- Control Numérico Adaptativo (CNA). El cual consta de medios de monitoreo continuo de los parámetros críticos de una operación para mantener las condiciones óptimas. Uno de sus propósitos es detectar fallas, como herramientas desgastadas o rotas, puntos duros en la pieza y hacer correcciones consecuentes. Otro propósito es ajustar periódicamente las velocidades, alimentaciones y otras variables para el rendimiento óptimo. Los sensores constantemente miden los parámetros críticos en una operación e informan a una computadora que está programada para comparar el estado en curso con un estado ideal. Si persiste una diferencia por un periodo predeterminado de tiempo, la computadora ordena las correcciones que deben hacerse.

### 3.1.5 Ventajas del Control Numérico

Los sistemas de CN presentan los siguientes beneficios:

- Posibilidad de fabricar piezas complicadas, como las superficies tridimensionales necesarias en la fabricación de aviones.
- Seguridad. El control numérico es especialmente recomendable para el trabajo con productos peligrosos.
- Mayor precisión de la máquina de control numérico respecto de las clásicas.
- Aumento de productividad de las máquinas. Esto se debe a la disminución del tiempo total de operación, en virtud de la disminución de los tiempos de desplazamiento en vacío y de la rapidez de los posicionamientos que suministran los sistemas electrónicos de control.

- Reducción de controles y desechos. Debido fundamentalmente a la gran fiabilidad y repetitividad de una máquina con control numérico. Esta reducción de controles permite prácticamente eliminar toda operación humana posterior, con la subsiguiente reducción de costos y tiempos de fabricación.

### **3.2 Maquinas Herramientas de Control Numérico**

Las Maquinas Herramientas de Control Numérico (MHCN), constituyen una modalidad de automatización mas utilizada; son maquinas herramientas en las cuales los programas de software sustituyen a los especialistas que controlaban convencionalmente los cambios de las maquinas, así como algunas variables de control adaptativo para comprobar aspectos tales como temperatura, vibración, condición del material, desgaste de las herramientas, etc., que permiten proceder a los reajustes necesarios.

Para determinar la conveniencia de estas maquinas en términos de costo habrá que considerar la mano de obra, la disponibilidad de operarios especializados, tipo y grado de precisión requerida, fiabilidad de las maquinas, etc. Algunas empresas que producen una gama de productos estrecha se han dirigido, no obstante, a las maquinas CN porque, aunque el coste de la programación sea alto, una vez hecha esta, puede ser utilizada posteriormente sin necesidad de volver a programar.

#### **3.2.1 Componentes de las MHCN**

Los principales componentes presentes en una MHCN son:

- El husillo principal

El husillo principal ejecuta el movimiento rotativo de la pieza en los tornos y la rotación de herramienta en las fresadoras y taladradoras, pudiendo accionarse por motores de corriente alterna de tres fases o motores corriente continua.

En la mayor parte de las MHCN el elemento que acciona el cabezal es un motor de corriente continua. Esto proporciona una variedad casi infinita de velocidades de giro, las cuales se procesan mediante un tacómetro. Todo ello permite al programador establecer la velocidad de giro de forma casi arbitraria, dentro del rango y capacidad del motor.



- Sistemas de sujeción

Los dispositivos de sujeción permiten asegurar la pieza a la mesa de trabajo (fresado) o al cabezal (torneado), los cuales se pueden abrir y cerrar mediante instrucciones programadas de CN, estableciendo la presión de cierre de las garras.

El sistema de amarre debe permitir una fácil carga/descarga de la pieza de trabajo y garantizar la repetibilidad en la colocación estable y precisa de la misma en el seno de la MHCN.

- Ejes principales

En la descripción de las MHCN se utiliza siempre el concepto de "eje", es decir, direcciones de los desplazamientos principales de las partes móviles de la máquina como la mesa portapiezas, cabezal, torreta.

Las MHCN están provistas de un número de ejes principales característico que hace factibles los trabajos de mecanizado sobre la pieza. Estos ejes se designan convencionalmente como X, Y y Z.

- Ejes complementarios

Algunas MHCN disponen de mesas giratorias y/o cabezales orientables. En ellas la pieza puede ser mecanizada por diferentes planos y ángulos de aproximación. Los ejes sobre los que giran estas mesas y cabezales se controlan de forma independiente y se conocen con el nombre de ejes complementarios de rotación. Su velocidad se regula también de forma autónoma.

- Sistemas de transmisión

Los recorridos de la herramienta en el seno de la pieza se originan por la acción combinada de los desplazamientos en cada uno de sus ejes principales.

Los sistemas de transmisión producen traslaciones rectilíneas en los ejes principales a partir del giro básico generado por el grupo del motor-reductor.

Para generar los movimientos de cada eje se usan habitualmente motores eléctricos de corriente continua controlados mediante señales electrónicas de salida y entrada. Estos actuadores pueden girar y acelerarse en ambos sentidos.

En las MHCN más simples con prestaciones basadas en la precisión del mecanizado se utilizan los motores paso a paso como actuadores primarios. Con motores

de este tipo, el giro se subdivide en incrementos fijos que son controlados mediante un número de pulsos dado. Sin embargo, cuando se desean trabajos pesados de mecanizado con pares resistentes elevados durante el frenado o aceleración, su fiabilidad y prestaciones disminuye.

- Medida de los desplazamientos

Las posiciones de los elementos móviles de las MHCN se pueden medir mediante dos sistemas:

El sistema directo utiliza una escala de medida ubicada en la guía de la mesa de la máquina. Las imprecisiones en el giro del sinfín o en su acoplamiento no afectan a este método de medida. Un lector óptico determina la posición por conteo directo en la rejilla o regleta graduada y transforma esta información a señales eléctricas para su proceso por la UC.

En el sistema indirecto la posición de la mesa se calcula por la rotación en el sinfín, al registrar el movimiento de un disco graduado solidario con el mismo. La UC calcula la posición mediante el número de pasos o pulsos generados durante el desplazamiento.

- Cambiadores de herramienta

Mecanizar productos en MHCN requiere diferentes operaciones sucesivas sin soltar la pieza de su sistema de amarre lo que supone incorporar un dispositivo que permita cambiar de forma automática las herramientas durante el proceso. Es poco habitual llevar a cabo un trabajo de mecanizado sin cambiar de herramienta.

Los tornos CN y centros de mecanizado de gran producción utilizan cambiadores automáticos de herramientas que pueden albergar un número variable de útiles dependiendo de su diseño. El cambio de herramienta se controla por programación CN caracterizándose por un giro de la torreta hasta que coloca en la posición de trabajo aquella que se le solicita.

- Herramientas en MHCN

Una herramienta completa de MHCN presenta generalmente las siguientes partes: Acoplamiento, es el elemento que inserta la herramienta en el seno del cabezal de

la MHCN (fresadoras) o en la torreta (tornos), Portaherramientas (cuerpo, mango o porta plaquita), Punta herramienta (plaquita)

Dimensiones básicas: Para garantizar la precisión dimensional en el mecanizado de una pieza con una MHCN su UC debe tener noción exacta de las dimensiones de cada herramienta empleada. Las dimensiones básicas de la herramienta quedan referidas respecto al punto de montaje del acoplamiento con el hueco correspondiente del cabezal (o torreta) de la MHCN.

- El panel de control

El aspecto externo del panel de control de las MHCN puede variar considerablemente en función del fabricante, no obstante, los componentes que en él aparecen se pueden agrupar de forma genérica en: Monitor, que incluye una pantalla CRT, así como un conjunto de diales analógicos o digitales, e indicadores. Mandos para el control máquina, estos permiten el gobierno manual o directo de la MHCN en actividades análogas a las ejecutadas con una convencional mediante manivelas, interruptores, etc. Controles para la programación, teclados para la edición textual de programas y datos almacenados, presentan caracteres alfabéticos, números e iconos o símbolos de las funciones que ejecutan.

- Control de funciones máquina

En adición a las funciones geométricas para el control de los desplazamientos, los sistemas CNC disponen de otras para el gobierno de la máquina: funciones máquina. El número de estas y la forma en que se ejecutan dependen, tanto de la propia MHCN, cómo de las posibilidades de la UC.

Las funciones máquina que se enumeran a continuación son un ejemplo de las actividades complementarias que pueden ser programadas y que en algunos casos afectan a tareas auxiliares de la MHCN: comienzo del giro y control de la velocidad del cabezal, posición angular del cabezal, activación del refrigerante a una presión de salida dada, mantenimiento del avance constante, mantenimiento de la velocidad de corte constante, cambio de herramienta activa, comienzo de acciones de los dispositivos auxiliares, sistemas de alimentación o cambiadores de piezas, contrapunto, luneta, manipuladores y transportadores.

### 3.2.2 Lenguaje de Programación en las MHCN

El comienzo del control numérico ha estado caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación (cada constructor utilizaba el suyo particular).

Posteriormente, se vio la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas con tal de que fuesen del mismo tipo.

Actualmente se encuentran regidos bajo la norma DIN 66024 y 66025.

## 3.3 Robótica Industrial

La robótica es un área interdisciplinaria formada por la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y sistemas computacionales. La mecánica comprende tres aspectos: diseño mecánico de la máquina, análisis estático y análisis dinámico. La microelectrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que realice los movimientos requeridos por la tarea. La informática provee de los programas necesarios para lograr la coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva.

El término de robótica inteligente combina cierta destreza física de locomoción y manipulación, que caracteriza a lo que se conoce como robot, con habilidades de percepción y de razonamiento residentes en una computadora. La locomoción y manipulación están directamente relacionadas con los componentes mecánicos de un robot. La percepción está directamente relacionada con dispositivos que proporcionan información del medio ambiente (sensores), los mismos pueden ser de tipo ultrasonido (radares), cámaras de visión, láseres, infrarrojos, por mencionar algunos. Los procesos de razonamiento seleccionan las acciones que se deben tomar para realizar cierta tarea encomendada. La habilidad de razonamiento permite el acoplamiento natural entre las habilidades de percepción y acción.

### 3.3.1 Campos de Aplicación de la Robótica

Teóricamente el uso de sistemas robóticos podría extenderse a casi todas las áreas imaginables en donde se necesite de la ejecución de tareas mecánicas, entendiendo

en este contexto, que tarea mecánica es toda actividad que involucra presencia física y movimiento por parte de su ejecutor. Pero en el contexto real, en la práctica, se puede observar que existen factores que limitan su aplicación.

Algunos de los campos de aplicación actuales de la robótica son:

- Investigación – Exploración. En donde los robots presentan la ventaja de resistir mejor los ambientes hostiles para el ser humano.
- Entretenimiento. Esta industria se favorece del uso de robots para recrear situaciones ficticias o posibles, haciendo uso de los llamados "efectos especiales".
- Construcción. Industria en que ya se registran proyectos que incluyen el uso de robots como ejecutores de tareas de dimensionamiento, transporte, montaje, entre otras.
- Automatización Industrial. Es el más relevante y de interés. Corresponde al uso de robots en la industria a fin de mejorar, agilizar y aumentar la producción en los diferentes procesos.

### 3.3.2 Limitaciones en el Desarrollo e Implementación de Sistemas Robóticos

Como se menciona anteriormente, las aplicaciones de los sistemas robóticos podrían ser innumerables. Pero existen dos factores, fuertes y decisivos, que inhiben el crecimiento y desarrollo de esta tecnología. Estos son:

- Limitaciones económicas. Dado que la robótica es una disciplina de avanzada, los costos asociados a ella son muy altos, puesto que se necesitan recursos no sólo para su construcción, sino también para su investigación y desarrollo. Hay muchas áreas de investigación relacionadas que también son fuentes de costo, y hacen que en la actualidad un sistema robótico sea un producto caro y no masificado.
- Limitaciones tecnológicas. Un campo de investigación como la robótica está orientado a tratar de llevar a la práctica ideas que pueden haber sido concebidas hace ya mucho tiempo. Además del factor recursos, la realización de dichas ideas dependerá de que se hayan encontrado o desarrollado los medios tecnológicos que la permitan.

### 3.3.3 ¿Qué es un Robot Industrial?

Se entiende por Robot Industrial a un dispositivo de maniobra destinado a ser utilizado en la industria y dotado de uno o varios brazos, fácilmente programable para cumplir operaciones diversas con varios grados de libertad y destinado a sustituir la actividad física del hombre en las tareas repetitivas, monótonas, desagradables o peligrosas.

Esta definición indudablemente no abarca todas las posibilidades de aplicación presente y futuras de los Robots. El Robot es para la producción, lo que el computador es para el procesamiento de datos. Es decir, una nueva y revolucionaria concepción del sistema productivo cuyos alcances recién comienzan a percibirse en los países altamente industrializados.

Realmente, los Robots no incorporan nada nuevo a la tecnología en general, la novedad radica en la particularidad de su arquitectura y en los objetivos que se procura con los mismos. El trabajo del Robot se limita generalmente a pocos movimientos repetitivos de sus ejes, su radio de acción queda determinado por un sector circular en el espacio donde este alcanza a actuar. Cuando las partes o piezas a manipular son idénticas entre sí y se presentan en la misma posición, los movimientos destinados a reubicar o montar partes se efectúan mediante dispositivos articulados que a menudo finalizan con pinzas.

La sucesión de los movimientos se ordena en función del fin que se persigue, siendo fundamental la memorización de las secuencias correspondientes a los diversos movimientos. Puede presentarse el caso en el que las piezas o partes a ser manipuladas no se presenten en posiciones prefijadas, en este caso el robot deberá poder reconocer la posición de la pieza y actuar u orientarse para operar sobre ella en forma correcta, es decir se lo deberá proveer de un sistema de control adaptativo.

Si bien no existen reglas acerca de la forma que debe tener un robot industrial, la tecnología incorporada a él está perfectamente establecida, y en algunos casos esta procede de las aplicadas a las máquinas-herramientas. Los desplazamientos rectilíneos y giratorios son neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

### 3.3.4 Clasificación de los Robots Industriales

Una clasificación del grado de complejidad del Robot puede establecerse de la siguiente forma:

- Robots de primera generación. Dispositivos que actúan como "esclavos" mecánico de un hombre, quien provee mediante su intervención directa el control de los órganos de movimiento. Esta transmisión tiene lugar mediante servomecanismos actuados por las extremidades superiores del hombre, caso típico manipulación de materiales radiactivos, obtención de muestras submarinas, etc.
- Robots de segunda generación. El dispositivo actúa automáticamente sin intervención humana frente a posiciones fijas en las que el trabajo ha sido preparado y ubicado de modo adecuado, ejecutando movimientos repetitivos en el tiempo que obedecen a lógicas combinatorias, secuenciales, programadores paso a paso, neumáticos o Controladores Lógicos Programables. Un aspecto muy importante está constituido por la facilidad de rápida reprogramación que convierte a estos Robots en unidades "versátiles" cuyo campo de aplicación no sólo se encuentra en la manipulación de materiales sino en todo los procesos de manufactura, como por ejemplo: en el estampado en frío y en caliente, asistiendo a las máquinas-herramientas para la carga y descarga de piezas, en la inyección de termoplásticos y metales no ferrosos, en los procesos de soldadura a punto y continua, en tareas de pintado y reemplazando con ventaja algunas operaciones de máquinas convencionales.
- Robots de tercera generación. Son dispositivos que habiendo sido construidos para alcanzar determinados objetivos serán capaces de elegir la mejor forma de hacerlo teniendo en cuenta el ambiente que los circunda. Para obtener estos resultados es necesario que el robot posea algunas condiciones que posibiliten su interacción con el ambiente y los objetos. Las mínimas aptitudes requeridas son: capacidad de reconocer un elemento determinado en el espacio y la capacidad de adoptar trayectorias para conseguir el objetivo deseado. Los métodos de identificación empleados hacen referencia a la imagen óptica por ser esta el

lenguaje humano en la observación de los objetos, sin embargo no puede asegurarse que la que es natural para el hombre, constituye la mejor solución para el robot.

### 3.3.5 Tipos de Configuraciones para Robots Industriales

Cuando se habla de la configuración de un robot, se hace referencia a la forma física que se le ha dado al brazo del robot. El brazo del manipulador puede presentar cuatro configuraciones clásicas: cartesiana, cilíndrica, polar y angular (ver figura 3.1).

- Configuración cartesiana. Posee tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad, los cuales corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z. Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales.
- Configuración cilíndrica. Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, presenta tres grados de libertad. El robot de configuración cilíndrica está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación. La interpolación por articulación se lleva a cabo por medio de la primera articulación, ya que ésta puede realizar un movimiento rotacional.
- Configuración polar. Tiene varias articulaciones, pudiendo cada una de ellas realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal. Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.
- Configuración angular (o de brazo articulado). Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares. Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular.



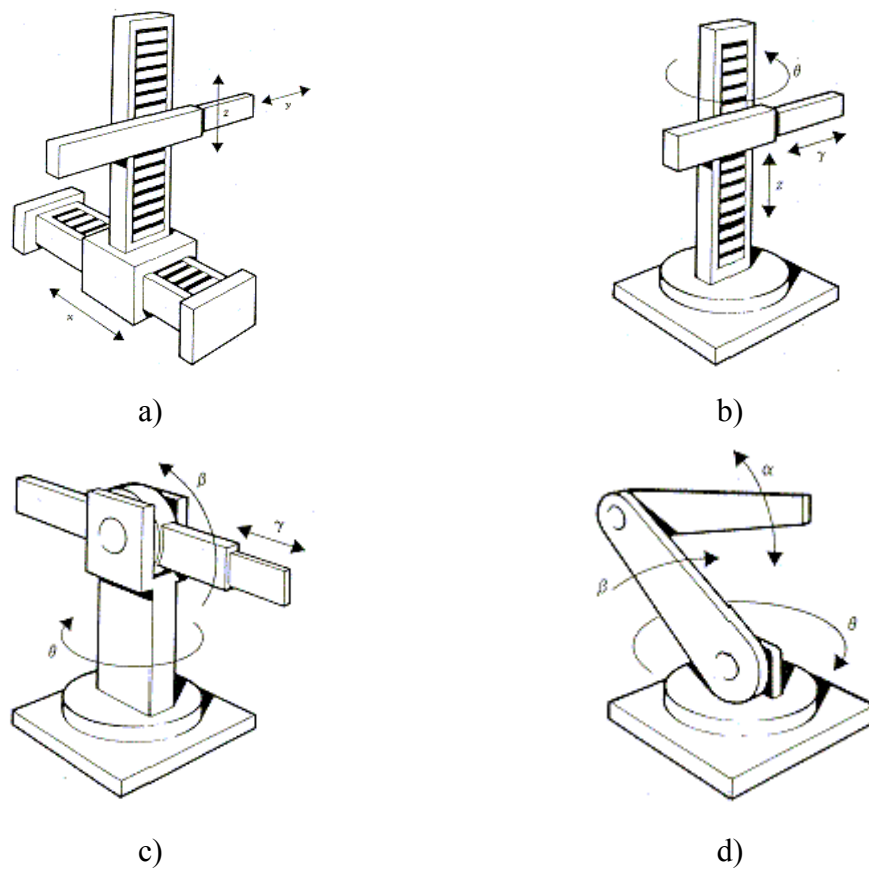


Figura 3.1 Configuraciones clásicas de un robot industrial:  
 a) cartesiana, b) cilíndrica, c) polar y d) angular.

### 3.3.6 Sistemas de Impulsión de los Robots Industriales

Los tres sistemas de impulsión más comunes en robots industriales son: hidráulica, eléctrica y neumática.

- **Hidráulico.** Se utiliza para robots grandes, los cuales presentan mayor velocidad y mayor resistencia mecánica. Los accionamientos hidráulicos proporcionan elevadas fuerzas, excelente control de la velocidad y posicionamiento exacto.
- **Eléctrico.** Se utiliza para robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren tanta velocidad ni potencia como los robots diseñados para funcionar con impulsión hidráulica. Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad. En los sistemas eléctricos se utilizan motores de corriente continua o motores paso a paso.

- Neumático. Los robots pequeños están diseñados para funcionar por medio de la impulsión neumática. Estos están limitados a operaciones como la de tomar y situar ciertos elementos. Los sistemas neumáticos no proveen movimientos precisos debido a la compresibilidad del aire y en ellos deben emplearse topes positivos para el posicionamiento, lo que implica la utilización de dispositivos de desaceleración. Los robots neumáticos poseen una alta velocidad de operación manipulando elementos de reducido peso.

### 3.3.7 Volumen de Trabajo

El volumen de trabajo de un robot se refiere únicamente al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el efecto final. La razón de ello es que a la muñeca del robot se le pueden adaptar grippers de distintos tamaños.

### 3.3.8 Análisis de la Necesidad y Factibilidad de un Robot Industrial

Algunos de los factores que determinan la necesidad de instalación de un robot y los aspectos a considerar en su factibilidad, son:

- Producción Anual. Cuando se deben producir piezas variadas, estas deben ser de características similares y la producción de cada lote como mínimo debe ocupar un período de tiempo razonable.
- Almacenamiento. Para la obtención de un flujo automático de material se deben almacenar piezas antes y después del grupo de máquinas que serán servidas por el Robot. Las piezas pueden almacenarse en transportadores paso a paso, o en cajas de nivel regulable. Las plataformas inclinadas, alimentación y salida por gravedad, suelen emplearse en casos sencillos.
- Tiempo de Manipulación. El tiempo de maniobra requerido es determinado por la longitud total del camino y la máxima velocidad del Robot. La mayoría de los Robots neumáticos, hidráulicos y eléctricos tienen velocidades máximas aproximadas a los 0,7 metros por segundo y desplazamientos angulares de 90° por segundo. Sin embargo, cuando se trata de un Robot neumático debe tenerse presente que la variación de velocidad con la carga es muy grande; y esto es

particularmente importante cuando un Robot de este tipo está equipado con dos manos, ya que en el momento en que estas estén ocupadas la carga será el doble.

- **Layout de Máquinas.** Básicamente el layout puede ser circular o lineal. En una disposición circular un Robot sirve a varias máquinas sin que las piezas se acumulen entre ellas. En un layout lineal cada Robot sirve a una máquina en la línea, y las piezas van siendo reunidas en transportadores entre máquinas.
- **Accesibilidad.** La mano del Robot está diseñada generalmente para un movimiento de entrada lateral, para lo cual es necesario disponer de espacios entre la herramienta y el punto de trabajo. El brazo del Robot debe tener espacio para ingresar a la máquina en forma horizontal o vertical.
- **Costo de Implementación.** El costo de esta implementación está compuesto por los siguientes elementos: el robot, las herramientas de la mano, posible modificación de la máquina y/o herramientas, posible alteración del layout existente, equipos periféricos, transportadores, cajas de almacenamiento, dispositivos de fijación y señalización, costo del trabajo de instalación, entrenamiento del personal para operación y mantenimiento, puesta en marcha y puesta a punto.

### 3.3.9 Beneficios en la Implementación un Robot Industrial

Entre los principales beneficios que se pueden obtener con la utilización de un robot industrial se mencionan las siguientes:

- Reducción de la labor.
- Incremento de utilización de las máquinas.
- Flexibilidad productiva.
- Mejoramiento de la calidad.
- Disminución de pasos en el proceso de producción.
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales.
- Mayor productividad.
- Ahorro de materia prima y energía.

- Calidad de trabajo humano, reducción de trabajos peligrosos e insalubres, trabajos repetitivos, monótonos y en posiciones forzadas.

### **3.4 Lenguajes de Programación de Robots**

Hay varias maneras de comunicarse con un robot, y tres soluciones generales para lograrlo, que son reconocimiento de palabras separadas, enseñanza y repetición y lenguajes de programación de alto nivel.

Los sistemas de reconocimiento de la voz en la tecnología moderna son bastante primitivos y suelen depender de quien habla. Estos sistemas pueden reconocer un conjunto de palabras concretas de un vocabulario muy limitado y en general exigen al usuario una pausa entre las palabras, aunque en la actualidad es posible reconocer las palabras separadas en tiempo real debido a los cada vez más rápidos componentes de las computadoras, y algoritmos de procesamiento más eficientes, la utilidad del reconocimiento de palabras separadas para describir la tarea de un robot es bastante limitada.

La enseñanza y repetición, también conocido como guiado, es la solución más común utilizada en el presente para los robots industriales. Este método implica enseñar al robot dirigiéndole los movimientos que el usuario desea que realice. La enseñanza y repetición se lleva a cabo normalmente con los siguientes tres pasos: dirigiendo al robot con un movimiento lento utilizando el control manual para realizar la tarea completa y grabando los ángulos del movimiento del robot en los lugares adecuados para que vuelva a repetir el movimiento; reproduciendo y repitiendo el movimiento enseñado; si el movimiento enseñado es correcto, entonces se hace funcionar al robot a la velocidad correcta en el modo repetitivo.

Los lenguajes de programación de alto nivel suministran una solución más general para resolver el problema de comunicación hombre-robot. La utilización de robots para llevar a cabo tareas requiere de técnicas de programación en lenguajes de alto nivel ya que el robot de la línea de producción suele confiar en la realimentación de los sensores, y este tipo de interacción sólo puede ser mantenida por métodos de programación que contengan condiciones.

### 3.4.1 Clasificación de la Programación Usada en Robótica

La programación empleada en Robótica puede tener un carácter explícito, en el que el operador es el responsable de las acciones de control y de las instrucciones adecuadas que las implementan, o estar basada en la modelación del mundo exterior, cuando se describe la tarea y el entorno y el propio sistema toma las decisiones.

La programación explícita es la utilizada en las aplicaciones industriales y consta de dos técnicas fundamentales: Programación Gestual y Programación Textual.

#### a. Programación Gestual o Directa

La programación gestual consiste en guiar el brazo del robot directamente a lo largo de la trayectoria que debe seguir. Los puntos del camino se graban en memoria y luego se repiten. Este tipo de programación, exige el empleo del manipulador en la fase de enseñanza, o sea, trabaja "on-line".

La programación gestual se subdivide en dos clases: Programación por aprendizaje directo y Programación mediante un dispositivo de enseñanza.

En el aprendizaje directo, el punto final del brazo se traslada con ayuda de un dispositivo especial colocado en su muñeca, o utilizando un brazo maestro o maniquí, sobre el que se efectúan los desplazamientos que, tras ser memorizados, serán repetidos por el manipulador.

La técnica de aprendizaje directo se utiliza, extensamente, en labores de pintura. El operario conduce la muñeca del manipulador o del brazo maestro, determinando los tramos a recorrer y aquellos en los que la pistola debe expulsar una cierta cantidad de pintura. Con esta programación, los operarios sin conocimientos de "software", pero con experiencia en el trabajo a desarrollar, pueden preparar los programas eficazmente.

La programación por aprendizaje directo tiene pocas posibilidades de edición, ya que, para generar una trayectoria continua, es preciso almacenar o definir una gran cantidad de puntos cuya reducción origina discontinuidades.

La programación usando un dispositivo de enseñanza, consiste en determinar las acciones y movimientos del brazo manipulador, a través de un elemento especial para este cometido. En este caso, las operaciones ordenadas se sincronizan para conformar el programa de trabajo.

El dispositivo de enseñanza suele estar constituido por botones, teclas, pulsadores, luces indicadoras, ejes giratorios o "joystick". Dependiendo del algoritmo de control que se utilice, el robot pasa por los puntos finales de la trayectoria enseñada.

Al igual que con la programación directa, en la que se emplea un elemento de enseñanza, el usuario no necesita conocer ningún lenguaje de programación. Simplemente, debe habituarse al empleo de los elementos que constituyen el dispositivo de enseñanza. De esta forma, se pueden editar programas, aunque como es lógico, muy simples.

Los lenguajes de programación gestual, además de necesitar al propio robot en la confección del programa, carecen de adaptabilidad en tiempo real con el entorno y no pueden tratar con facilidad, interacciones de emergencia.

#### b. Programación Textual

El programa queda constituido por un texto de instrucciones o sentencias, cuya confección no requiere de la intervención del robot; es decir, se efectúan "off-line". Con este tipo de programación, el operador no define, prácticamente, las acciones del brazo manipulado, sino que se calculan en el programa, mediante el empleo de las instrucciones textuales adecuadas.

En una aplicación tal como el ensamblaje de piezas, en la que se requiere una gran precisión, los posicionamientos seleccionados mediante la programación gestual no son suficientes, debiendo ser sustituidos por cálculos más perfectos y una comunicación con el entorno que rodea al sistema.

En la programación textual, la posibilidad de edición es total. El robot debe intervenir, sólo, en la puesta a punto final.

Dentro de la programación textual, existen dos grandes grupos, de características netamente diferentes: Programación textual explícita y Programación textual especificativa.

En la programación textual explícita, el programa consta de una secuencia de órdenes o instrucciones concretas, que van definiendo con rigor las operaciones necesarias para llevar a cabo la aplicación. Se puede decir que la programación explícita engloba a los lenguajes que definen los movimientos punto por punto, similares a los de la programación gestual, pero bajo la forma de un lenguaje formal.

La programación textual especificativa, es del tipo no procesal, en la que el usuario describe las especificaciones de los productos mediante una modelización, al igual que las tareas que hay que realizar sobre ellos. El sistema informático para la programación textual especificativa ha de disponer del modelo del universo, o mundo donde se encuentra el robot. Este modelo será, normalmente, una base de datos más o menos compleja, según la clase de aplicación.

### **3.5 Manufactura Asistida por Computador**

La Manufactura Asistida por Computador o CAM (de Computer Aided Manufacturing) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en la fabricación de cualquier tipo de producto. Esta disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costos y acortar los tiempos de diseño y producción.

El termino CAM se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción. Estas herramientas suelen, además, simular el funcionamiento del programa en una fase previa a su implantación, verificando la corrección del mismo y anticipándose a problemas que podrían producirse si fueran probados directamente en la planta de producción.

#### **3.5.1 Categorías del CAM**

Las aplicaciones del CAM se dividen en dos categorías según el tipo de interfaz:

- Interfaz indirecta (planificación). Se trata de aplicaciones en las que el computador se utiliza como herramienta de ayuda para la fabricación, pero en las que no existe una conexión directa con el proceso de producción.
- Interfaz directa. Son aplicaciones en las que el computador se conecta directamente con el proceso de producción para monitorear su actividad y realizar tareas de supervisión y control. Así pues, estas aplicaciones se dividen en dos grupos:

- Supervisión. Implica un flujo de datos del proceso de producción al computador con el propósito de observar el proceso y los recursos asociados, y recoger datos.
- Control. Supone un paso más allá que la supervisión, ya que no solo se observa el proceso, sino que se ejerce un control basándose en dichas observaciones.

### 3.5.2 Componentes del CAM

Los fundamentos de los sistemas de Manufactura Asistida por Computador son muy amplios, abarcando múltiples y diversas disciplinas, entre las que cabe destacar las siguientes:

- Modelado geométrico. Se ocupa del estudio de métodos de representación de entidades geométricas. Existen tres tipos de modelos: alámbricos, de superficies y sólidos, y su uso depende del objeto a modelar y la finalidad para la que se construya el modelo. Se utilizan modelos alámbricos para modelar perfiles, trayectorias, redes u objetos que no requieran la disponibilidad de propiedades físicas. Los modelos de superficie se utilizan para modelar objetos como carrocerías, fuselajes, zapatos, personajes, donde la parte fundamental del objeto que se está modelando es el exterior del mismo. Los modelos sólidos son los que más información contienen y se usan para modelar piezas mecánicas, envases, moldes, y en general, objetos en los que es necesario disponer de información relativa a propiedades físicas como masas, volúmenes, centro de gravedad, momentos de inercia, etc.
- Técnicas de visualización. Son esenciales para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo, abarcando desde simples técnicas de dibujo 2D para el esquema de un circuito eléctrico, hasta la visualización realista usando trazado de rayos o radiosidad para el estudio de la iluminación.
- Técnicas de interacción gráfica. Son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema. Entre ellas, las técnicas de posicionamiento y selección tienen una especial relevancia. Las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de coordenadas 2D o 3D. Las técnicas de selección permiten la



identificación interactiva de un componente del modelo, siendo por tanto esenciales para la edición del mismo.

- Base de datos. Es el soporte para almacenar toda la información del modelo, desde los datos de diseño, los resultados de los análisis que se realicen y la información de fabricación. El diseño de las bases de datos para sistemas CAM plantea una serie de problemas específicos por la naturaleza de la información que deben soportar.
- Métodos numéricos. Son la base de los métodos de cálculo empleados para realizar las aplicaciones de análisis y simulación típicas de los sistemas de CAM.
- Conceptos de fabricación. Referentes a máquinas, herramientas y materiales, necesarios para entender y manejar las aplicaciones de fabricación.
- Conceptos de comunicaciones. Necesarios para interconectar todos los sistemas, dispositivos y máquinas de un sistema CAM.
- Interfaz de usuario. Uno de los aspectos más importantes de una aplicación CAM es su interfaz. Del diseño de la misma depende en gran medida la eficiencia de la herramienta.

### 3.5.3 Hardware

La característica fundamental de los sistemas CAM en lo que se refiere al hardware es que son sistemas con gran capacidad de cálculo y, sobre todo, con subsistemas gráficos de altas prestaciones. Otra característica es el uso de dispositivos específicos de entrada y salida, por las necesidades que la funcionalidad de estos sistemas requiere.

#### Dispositivos de entrada

- Digitalización 2D. Permiten adquirir las coordenadas x e y de objetos planos, normalmente impresos en documentos de papel. Entre estos dispositivos se encuentran las tabletas digitalizadoras, en las que la digitalización se realiza fijando el papel a la tableta y marcando los puntos deseados. En este grupo se encuentran también los escáneres y capturadoras de imagen. La digitalización en este caso se realiza superponiendo la imagen adquirida con la aplicación de

modelado, de tal forma que los píxeles de dicha imagen se utilizan como referencia para la creación de las entidades del modelo.

- Digitalización 3D. En este caso se trata de obtener la geometría tridimensional de un objeto. Para ello será necesario conocer las coordenadas x, y, z de los vértices del objeto. Para adquirir dichas coordenadas se utilizan distintas técnicas y dispositivos entre los que están el palpador 3D, los sistemas basados en vídeo y los sistemas basados en láser.
- Dispositivos táctiles. Proporcionan al usuario la sensación de contacto físico. Estas sensaciones se producen mediante un sistema de realimentación de la fuerza que se produciría si se estuviese manejando un objeto real en lugar de un modelo geométrico.
- Dispositivos de seguimiento y captura del movimiento. Utilizan sistemas electromagnéticos, ultrasónicos, ópticos o mecánicos para determinar la posición y orientación del objeto que esta siendo rastreado. Se utilizan habitualmente en aplicaciones de animación para capturar movimientos reales complejos (rotoscopia), en los dispositivos de visualización montados sobre la cabeza o en los guantes de datos.
- Guantes de datos. Están equipados con sensores en cada articulación que miden los ángulos para determinar la posición y orientación de mano y los dedos. La información generada por el guante de datos suele ser regenerada de forma gráfica mostrando dinámicamente los movimientos del usuario.

Dispositivos de salida

- Dispositivos de fabricación rápida de prototipos. Producen prototipos reales en tres dimensiones en un corto espacio de tiempo. Estos prototipos son pequeñas figuras de resina o polímeros con la forma del modelo geométrico a partir del cual se generan. Existen varias tecnologías para generarlos, entre las que se encuentra la estéreo-litografía, el sinterizado o el laminado.
- Trazadores de corte. Son dispositivos que incorporan un cabezal con una herramienta de corte. Habitualmente trabajan sobre materiales metálicos, plásticos, vinilo o papel.

- Máquinas herramienta. Son las máquinas sobre las que se ejecutan instrucciones programadas para controlar dispositivos que cortan, doblan, perforan y/o transforman una materia prima en un producto terminado.
- Robots. Normalmente se trata de dispositivos homomorfos porque imitan la forma de un brazo humano. En el extremo de dicho brazo se acopla una herramienta que puede servir para cortar, soldar, pintar, manipular, etc. Se programan mediante aplicaciones que permiten especificar la trayectoria de la herramienta y la operación a realizar.
- Dispositivos de transporte automatizados. Se utilizan dentro de las celdas de fabricación flexible para transportar las piezas sobre las que se tiene que realizar alguna operación, como su ensamblado, manipulación por robots u otras máquinas, su inspección por un sistema automatizado, etc.
- Máquinas de inyección. Utilizan complejos moldes mecánicos en los que inyectan materiales plásticos a alta temperatura y presión para formar las piezas de materiales plásticos.

#### 3.5.4 Beneficios del CAM

Los beneficios obtenidos con la aplicación de herramientas CAM se reflejan en diferentes aspectos dentro de una empresa.

- Mayor adaptación a las necesidades del cliente. Se acortan los tiempos de introducción al mercado de nuevos productos, por lo que se puede dar una solución más rápida y eficiente a las necesidades de los clientes.
- Capacidad de realizar piezas complejas. Uno de los problemas de toda empresa es el no poder desarrollar modelos complejos de manera manual, esto limita el poder desarrollar nuevos productos que le den ventaja competitiva en el mercado. Con las herramientas CAM se tiene la capacidad de diseñar, crear prototipos y probar colisiones en los procesos de manufactura de nuevos productos.
- Aumento en la calidad del producto. Al emplear este tipo de herramientas en el proceso productivo, se disminuye la probabilidad de errores de producción, con el consecuente incremento de la calidad del producto.