

## **INDICE DE ROBOTICA**

- 4.1.- Orígenes y breve historia de los robots.
- 4.2.- Tipos generales de robots.
- 4.3.- Definición de robot industrial.
- 4.4.- Articulaciones y grados de libertad de un robot
  - 4.4.2.- Tipos de robots según la configuración de sus articulaciones.
- 4.5.- Características y especificaciones de los robots industriales.
- 4.6.- Partes de un conjunto-robot.
  - 4.6.1.- Armario de control. Sistema de control.
  - 4.6.2.- Brazo-robot. Sistemas de accionamiento.
- 4.7.- Aplicaciones y ventajas de los robots.
- 4.8.- Implantación de robots.
- 4.9.- Programación de robots.
  - 4.9.1.- Clasificación de los métodos de programación de robots.
  - 4.9.2.- Lenguajes de programación
- 4.10.- Ejemplos de programación con V+.
- 4.11.- Tendencias de la robótica.

### **4.1.- ORÍGENES Y BREVE HISTORIA DE LOS ROBOTS.**

En casi todas las épocas y culturas, los hombres han intentado construir máquinas automáticas que faciliten su trabajo, hagan más cómoda su existencia, satisfagan su curiosidad y su afán de aprender e investigar, o simplemente les sirvan de entretenimiento. Ya en la antigua Grecia se construyeron ingenios de funcionamiento automático a los que llamaron autómatas; posteriormente en la Edad Media y en el Renacimiento se siguieron fabricando diversos autómatas, entre ellos el gallo de Estrasburgo (1230) y el león animado de Leonardo Da Vinci. Durante los siglos XVII y XVIII se crearon ingenios mecánicos de mayor complejidad que tenían alguna de las características de los robots actuales; así por ejemplo Jacques de Vaucanson (1709-1782) construyó varios autómatas, uno de los más conocidos es un pato mecánico, que bebe, come, grazna, chapotea en el agua y digiere su comida “como un pato verdadero”; estos primeros autómatas estaban destinados fundamentalmente a ser exhibidos en las ferias y servir de entretenimiento en las Cortes y entre la nobleza. Por esta época de finales del siglo XVIII y también a principios del XIX se desarrollaron algunas máquinas para empleo en la industria textil, entre las que ya había algún telar en el que mediante el uso de tarjetas perforadas se podía elegir el tipo de tela a tejer, este hito, constituyó uno de los primeros precedentes históricos de las máquinas programadas por control numérico, (Fig. 4.1). Un poco más tarde que en la industria textil, se incorporan los automatismos en las industrias mineras y metalúrgicas, es la época de las máquinas de vapor; James Watt (1736-1819) contribuyó decisivamente al desarrollo de estas máquinas e inventó el llamado regulador de Watt, que es un regulador centrífugo de acción proporcional; con él nació el concepto de realimentación y la regulación automática,

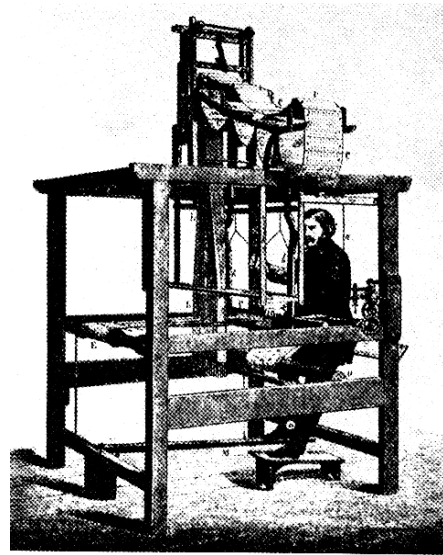


Fig. 4.1. Telar de J. Jacquard

que es una de las bases de los robots industriales actuales, pues entre otros elementos, incorporan diversos sensores y reguladores PID.

La palabra robot se empleó por primera vez en 1920 en una obra de teatro llamada "Robots Universales Rossum" escrita por el dramaturgo checo Karel Capek, se deriva de la palabra checa "robotnik" y significa, siervo, servidor o trabajador forzado. Es en el siglo XX cuando se empieza a hablar de robots y se produce el desarrollo de estos, que va ligado con el desarrollo de los microprocesadores. En la tabla siguiente se citan algunos hechos destacables con sus fechas aproximadas.

1954	A partir de esta fecha, el estadounidense George Devol, comienza la construcción de un brazo articulado que realiza una secuencia de movimientos programables por medio de computador; se considera que este "brazo" es el primer robot industrial.
1956	Devol conoció a Joseph Engelberger y juntos fundaron en 1960 la empresa Unimation dedicada a la fabricación de robots.
1961	Se realizan pruebas de un robot Unimate accionado hidráulicamente, en un proceso de fundición en molde en General Motors.
1968	Kawasaki se une a Unimation y comienza la fabricación y el empleo de robots industriales en Japón. En este año General Motors, emplea baterías de robots en el proceso de fabricación de las carrocerías de los coches
1973	La empresa sueca ASEA, fabrica el primer robot completamente eléctrico, es el tipo de accionamiento que ha acabado imponiéndose, debido a los avances registrados en el control de motores eléctricos.
1974	Se introduce el primer robot industrial en España. También es el año en el que se comienza a usar el lenguaje de programación AL, del que derivarán otros de uso posterior como el VAL (Victor's Assembly Language) de los robots PUMA, implementado en 1975 por Victor Scheinman, que junto a Devol y Engelberger, son pioneros en la robótica industrial.
1978	Comienza a emplearse el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assambly) de Unimation, que es uno de los modelos que más se ha usado, su diseño de "brazo" multiarticulado es la base de la mayoría de los robots actuales.
1981	Comienza la comercialización del robot tipo SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assambly) en Japón.
1987	Se constituye la Federación Internacional de Robótica con sede en Estocolmo.

Durante estos años, se sientan las bases de la robótica industrial, posteriormente irá aumentando el empleo y la sofisticación de los robots con el aumento de las prestaciones de los microprocesadores y las posibilidades de la informática.

El auge de los robots, además de al desarrollo de la electrónica, se debe a la necesidad industrial de fabricar productos con variaciones en función de los gustos y necesidades de los clientes, lo cual ha hecho que las máquinas y dispositivos automáticos de fabricación específicos para fabricar un producto único, solo sean rentables para grandes series; con la robótica y la automatización flexible, se consiguen fabricar distintos productos de una misma familia, con pocos o ningún cambio estructural en las líneas de producción, pues estos sistemas se adaptan por programa a las condiciones variables de fabricación.

#### **4.2.- TIPOS GENERALES DE ROBOTS**

Los robots, se pueden clasificar de varias formas, una clasificación por tipos, puede ser la siguiente:

**Androides y zoomórficos** (Fig. 4.2).- La idea de crear robots análogos al hombre, existe en la mente humana desde hace algún tiempo, a estos robots, se les denomina androides; se han

construido ya algunos, pero por ahora son dispositivos muy poco evolucionados y con poca utilidad práctica, se destinan fundamentalmente al estudio y experimentación. Uno de los campos en los que se está trabajando es en conseguir el equilibrio de estos robots al andar y



Fig. 4.2 Robots, androide y zoomórfico respectivamente

subir escaleras.

Los zoomórficos, tienen forma de animales y se intenta conseguir con ellos alguna de las facultades que tienen los animales.

**Móviles.-** Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse en función de su programación y de la información que reciben. Pueden llevar diversos sistemas de sensores para captar información, por ejemplo: a través de bandas electromagnéticas o fotoeléctricas, vía radio o por medio de sus propias cámaras de visión. Se emplean en determinados tipos de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y las investigaciones o rescates submarinos. (Fig. 4.3).



Fig. 4.3. Diversos robots móviles

**De Servicio** (Fig. 4.4).- En esta clasificación podrían entrar todos los robots no industriales; citamos aquí los siguientes:

- De limpieza: para suelos, ventanales, conductos, etc.
- De uso en ambientes hostiles: con peligro de explosión, de difícil acceso o nocivos para el hombre, en mediciones de radiación y altas temperaturas, en control y accionamiento de válvulas, mantenimiento y reparación, etc.

- De servicios médicos: prótesis robotizadas, rehabilitación y ayuda a discapacitados, cirugía.
- Microrobots; están en fase de desarrollo y pueden tener aplicaciones en micro-medicina y sectores industriales muy específicos.



Fig. 4.4. Diversos robots de servicio

**Telemanipulados o Teleoperados.-** Los telemanipuladores, no encajan exactamente en la definición de robot pues un telemanipulador precisa el mando continuo de un operario. La sustitución del operador por un programa de ordenador para controlar los movimientos del manipulador dio paso al concepto de robot. El primer telemanipulador fue construido en 1948 por R.C. Goertz del Argonne National Laboratory. Los teleoperadores son generalmente sofisticados y muy útiles en entornos peligrosos, como en el manejo de residuos químicos y atómicos y en la desactivación de bombas.

**Industriales.-** Los robots industriales son sobradamente los más usados y en base a los que se ha producido el desarrollo de la robótica. Están destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. La incorporación del robot al mundo industrial, introduce el concepto de "sistema de fabricación flexible", cuya principal característica consiste en la facilidad de adaptación de las líneas o células de fabricación a las diferentes tareas de producción. A partir de este punto, nos referiremos casi exclusivamente a este tipo de robots. (Fig. 4.5)



Fig. 4.5. Robots industriales

### **4.3.- DEFINICIÓN DE ROBOT INDUSTRIAL.**

Casi todas las asociaciones o federaciones nacionales e internacionales, tienen su propia definición de robot aunque con evidentes analogías.

La de la Federación Internacional de Robótica (IFR), es: *"Por robot industrial de manipulación se entiende a 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"*.

La definición de robot industrial de la I.S.O., proviene de la "Robotic Industries Association (RIA) y es: *"Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas"*.

Para la Asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA): Los robots son *"dispositivos capaces de moverse de modo flexible análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las órdenes humanas*. Esta definición es algo mas ambigua que las anteriores; en Japón el concepto de robot es menos restrictivo que en otros países.

#### **4.4.- ARTICULACIONES Y GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT**

Exteriormente un robot industrial consta de una serie de partes rígidas, que están unidas entre si por medio de articulaciones formando una cadena, esta cadena comienza con una base de apoyo generalmente fija y termina por su otro extremo, móvil y libre, que es donde se le acopla la herramienta de trabajo al robot.

Las articulaciones permiten que entre las partes que unen (también llamadas ejes), se pueda producir un movimiento de desplazamiento, de giro o una combinación de ambos. Hay varios tipos de articulaciones, las dos que más emplean los robots, son la prismática (P) y la de rotación (R); ambas permiten un solo Grado De Libertad (GDL), o movimiento independiente entre las partes que unen. La prismática permite únicamente un movimiento relativo de desplazamiento o traslación en una sola dirección o eje; la de rotación permite únicamente un movimiento relativo de giro alrededor de un solo eje; por este motivo, podemos decir en general que el número de GDL en un robot es igual al número de sus articulaciones o al número de ejes.

Con tres traslaciones según el respectivo eje X, Y o Z y tres giros o rotaciones (yaw, pitch, roll) relacionadas con estos mismos ejes, podemos posicionar cualquier elemento, objeto u herramienta en el espacio. Generalmente los robots consiguen el posicionado por medio de sus tres primeras articulaciones a partir de la base y la orientación de su elemento terminal o herramienta con el resto de articulaciones. No es necesario que un robot tenga los 6 GDL para todas las aplicaciones, hay robots con solo 3 GDL; por contra también se habla de robots con mas de 6 articulaciones y GDL, que permiten aumentar la accesibilidad a ciertas zonas de trabajo; en este caso y para un solo brazo-robot, no se tienen mas de 6 GDL, pues alguna de las articulaciones o ejes proporcionan falsos GDL que son repetidos de los proporcionados por otras articulaciones.

##### **4.4.1.- TIPOS DE ROBOTS SEGUN LA CONFIGURACIÓN DE SUS EJES.**

La estructura mecánica y tipo de robot viene determinada por el tipo de las 3 primeras articulaciones, estas le confieren una determinada configuración a los 3 ejes principales, que como ya se ha comentado son los que determinan la posición de la herramienta en el espacio y también el tipo de coordenadas con las que se determina esta posición o localización. Según esto, tenemos los siguientes tipos básicos de robots: polar o esférico, cilíndrico, cartesiano, SCARA y angular o antropomórfico.

**Robot polar o esférico.-** La primera y segunda articulación son de ejes de rotación perpendiculares entre sí, la tercera es prismática; así pues tenemos dos giros y un

desplazamiento que permiten posicionar un punto en el espacio mediante coordenadas polares.

Los primeros robots fueron de este tipo y tenían accionamientos hidráulicos, ahora se usan poco, debido a que es complicado controlar sus movimientos de traslación y a la flexión que se produce en su brazo cuando está extendido con cargas de cierta magnitud, aun así son apropiados para mover cargas elevadas que no precisen mucha exactitud o movimientos complejos. (Fig. 4.6).



Fig. 4.6. Robot polar

**Robot Cilíndrico.**- Utiliza un giro en la base y dos desplazamientos perpendiculares entre sí, para determinar la posición de los puntos por medio de coordenadas cilíndricas. Se controla fácilmente y es rápido, pero solo se usa para casos en que no haya obstáculos en su zona de trabajo y el acceso a ella se haga horizontalmente. (Fig. 4.7)



Fig. 4.7. Robot cilíndrico



Fig. 4.8. Robot artesiano

**Robot cartesiano.**- Sus tres articulaciones principales son prismáticas, los ejes son ortogonales entre sí y los desplazamientos sobre ellos dan las coordenadas cartesianas X, Y, Z, de los puntos de trabajo. La estructura puede ser de tipo cantilever o en pórtico. Son rápidos, muy precisos, de fácil control, amplia zona de trabajo y elevada capacidad de carga, pero ocupan mucho espacio relativo y su elemento terminal-herramienta no es especialmente orientable. Se usan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión en zonas de trabajo que sean fundamentalmente un plano o planos paralelos. Si la precisión necesaria no es alta, los ejes controlados por medio de PLC y tarjetas electrónicas aventajan notablemente en precio a este tipo de robots. (Fig. 4.8)

**Robot SCARA.**- Es un robot con dos articulaciones R y una P, con las dos R se controla la posición respecto al plano X-Y y con la P la coordenada Z. Es rápido, barato y preciso, pero solo tiene accesibilidad a zonas de trabajo que estén en planos perpendiculares a su eje vertical. Se emplea fundamentalmente en operaciones de ensamblado o inserción de componentes electrónicos y en otros trabajos similares. Es originario de Japón y es allí donde más se emplea, su inconveniente inicial era la potencia de cálculo necesaria para determinar posiciones por combinación de giros, pero este problema se ha resuelto para este y otros robots, gracias al desarrollo de los microprocesadores. En España tiene poca aplicación debido a que aquí, el sector con más implantación de robots es el del automóvil y en



Fig. 4.9. Robot SCARA



este sector se emplean mayoritariamente robots de brazos articulados, también llamados angulares y antropomórficos. (Fig. 4.9)

**Robot angular o antropomórfico.-** Tiene sus tres principales articulaciones de tipo R, (y también las restantes), con lo cual emplea las coordenadas angulares para determinar las posiciones de su elemento terminal. Se llama antropomórfico por que simula los movimientos de un brazo humano, el primer eje se corresponde con el cuerpo, el segundo con el brazo, el tercero con el antebrazo y el resto de con la muñeca-mano; la primera articulación se corresponde con el giro de la cintura, la segunda con el del hombro, la tercera con el del codo y el resto están en la muñeca.

Este robot posee gran accesibilidad y maniobrabilidad, es rápido y ocupa poco espacio en relación al campo de trabajo que abarca. Debido a sus características es el modelo más versátil en aplicaciones y se ha impuesto a los demás, sobre todo en Células de Fabricación Flexible. Como inconvenientes se pueden citar que tiene menos precisión que otros modelos, que si trabaja con carga y velocidades altas, se producen inercias de giro difíciles de compensar y que sus articulaciones deben tener juego casi nulo, pues un pequeño juego angular se amplifica en posición en función de la longitud del eje correspondiente, con lo cual puede dar errores considerables. (Fig. 4.10)



Fig. 4.10. Robot angular

#### **4.5.- CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.**

Las características técnicas o especificaciones industriales, dan una idea muy aproximada de la capacidad y adecuación de un determinado tipo de robot, para realizar una serie específica de tareas o trabajos. No todos los fabricantes dan las mismas características, a continuación se citan las más comunes con una breve explicación.

**Grados de libertad.-** Los robots, suelen tener entre 3 y 6 GDL sin contar los movimientos propios de la herramienta que se le acopla, ni los GDL redundantes. A más GDL, mayor flexibilidad en el posicionamiento y orientación del elemento terminal.

**Zona de trabajo.-** Es un volumen espacial con forma semejante entre los robots con la misma configuración de los ejes, por lo tanto depende fundamentalmente del tipo de robot y del tamaño de sus ejes.

**Capacidad de carga.-** Es la máxima carga que un determinado robot puede transportar a su velocidad nominal considerando su configuración más desfavorable y garantizando el posicionado. En esta carga se incluye el peso de la pinza o herramienta que se le acopla al robot en su muñeca-mano; puede variar entre 2 y 200 Kg. aproximadamente.

**Resolución.-** Podemos decir que es el mínimo incremento o variación de desplazamiento que puede realizar un robot en su elemento terminal; depende fundamentalmente de la unidad de control del robot.

**Precisión.-** Es la distancia que hay entre el punto programado y el punto realmente alcanzado por el robot; en una serie de movimientos repetidos, es el grado de ajuste del valor del punto medio de estos movimientos al valor programado.

**Repetibilidad.-** Se entiende como el grado de exactitud en la repetición de movimientos, una buena repetibilidad, da baja desviación para el conjunto de estos movimientos, aunque su media se aleje del valor programado. Si se cogen los puntos de destino por aprendizaje, la repetibilidad es mucho más importante que la resolución y la precisión, pues lo importante en este caso es que el robot repita el posicionado en los puntos que el ha grabado. La repetibilidad en los robots varia aproximadamente desde 0,01 hasta 2 mm. Hay fabricantes que engloban la precisión y la repetibilidad en: precisión en la repetibilidad.

**Velocidad y Aceleración.-** La velocidad es importante sobre todo para movimientos largos y en aplicaciones de paletizado: inserción, manipulación y montaje. La velocidad nominal puede darse para cada eje independientemente o bien para el movimiento de la muñeca del robot que es la importante para el usuario, esta puede variar de 0.5 a 2 m/s según el tipo de robot y la aplicación.

La aceleración es importante para movimientos cortos en los que se necesitan arranques y frenados rápidos. Hay controles que implementan perfiles de movimiento con rampas de aceleración y frenado para optimizar los movimientos en función de las distancias, velocidades e inercias.

**Armario o unidad de control.-** Reúne una serie de características que determinan las comunicaciones con el entorno y la capacidad y potencia de control del brazo robot. Estas características están evolucionando constantemente, entre ellas están las siguientes:

- Memoria de almacenamiento y de programa.
- Lenguaje de programación.
- Tipos de comunicaciones con el entorno; número y tipo de E/S.
- Periféricos conectables, y entre ellos tipo de mando manual (teach pendant) con sus posibilidades de programación, movimientos manuales y otras funciones de que dispone.
- Posibilidades de ampliación y de control de otros ejes externos al brazo robot; parámetros de control para aplicaciones de soldadura y de pintado etc.

#### 4.6.- PARTES DE UN CONJUNTO-ROBOT

Un robot tiene básicamente dos partes, el armario de control y el brazo-robot, ambas conectadas por una manguera multicable.

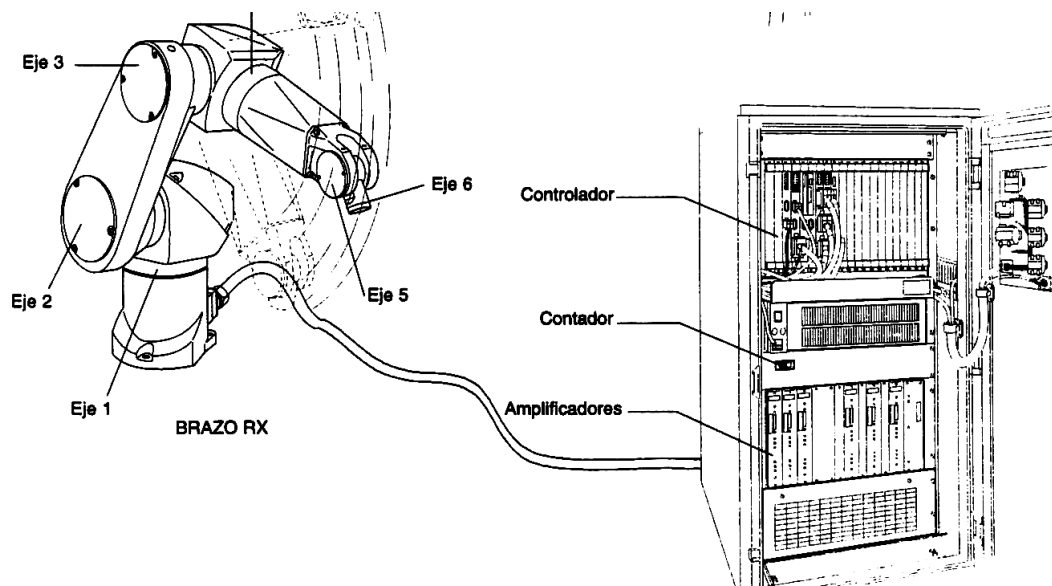


Fig. 4.11. Conjunto brazo-robot y armario de control. *Robótica Pag. 8 de 18*



#### 4.6.1.- ARMARIO DE CONTROL. SISTEMAS DE CONTROL

En el punto anterior se han especificado alguna de las características que tiene un armario de control de cara al usuario, en este apartado, nos centramos en los aspectos relativos al control, pues este armario es el encargado de la coordinación de todo el sistema; controla las comunicaciones con el exterior y las internas del propio sistema y sus periféricos; también realiza el control cinemático y dinámico del brazo. Exteriormente tiene sistemas de comunicación hombre-maquina como pueden ser: el panel de operador, el mando manual y la maleta de programación o un monitor y teclado. El sistema de control del interior del armario puede tener distintas arquitecturas, en general constan fundamentalmente de los siguientes componentes:

- Fuente de alimentación y sistemas de protección y seguridad.
- Ordenador (CPU); se encarga de los cálculos, de la gestión y ejecución de los programas y del mando y supervisión del resto de sistemas.
- Tarjeta de control de los ejes; hace de interfaz entre la CPU y las tarjetas de servocontrol y amplificación de cada uno de los motores.
- Tarjetas de servocontrol y amplificación de los motores, controlan la alimentación eléctrica a los motores y la posición de cada uno de los ejes del robot.
- Tarjeta de entradas y salidas y/o tarjeta de comunicaciones; una parte de estas E/S se emplean para uso del propio robot (pulsadores, señalizaciones y activación de las herramientas que se la acoplan); las otras se emplean para la comunicación del robot con su entorno.

El tipo más normal de control de la posición y velocidad de los ejes de un robot, es mediante una cadena de bloques de regulación con realimentación en lazo cerrado.

#### 4.6.2.- BRAZO-ROBOT. SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO.

El brazo esta constituido por segmentos o miembros rígidos enlazados entre si por medio de articulaciones; estos segmentos realizan la función de, carcasa, soporte y guiado; de una serie de elementos o sistemas que generalmente se alojan en su interior; entre estos tenemos a los sistemas de: accionamiento, transformación y transmisión del movimiento, detección de posición y velocidad, y los cableados y sistemas auxiliares como: frenos, equilibradores, etc. A continuación se hace un breve comentario de alguno de estos sistemas:

**Sistemas de accionamiento.-** En los primeros robots, el accionamiento era hidráulico, ahora este tipo de accionamiento se ha quedado reducido a casos de grandes esfuerzos o zonas con elevado riesgo de explosión; posteriormente se emplearon los motores de corriente continua de escobillas debido a la facilidad para regular su par y su velocidad. Más tarde, se desarrollaron motores de c.c. con los imanes permanentes en el rotor y las bobinas del inducido en el estator; con este diseño, se producen tres ventajas importantes para la robótica: a) Se eliminan las escobillas y su mantenimiento, b) Al ser menor el momento de inercia del rotor, se pueden aumentar las velocidades y c) Se produce menos calor y este se elimina mejor.

Actualmente se ha impuesto el motor de corriente alterna sin escobillas (brushless) pues ahora, también

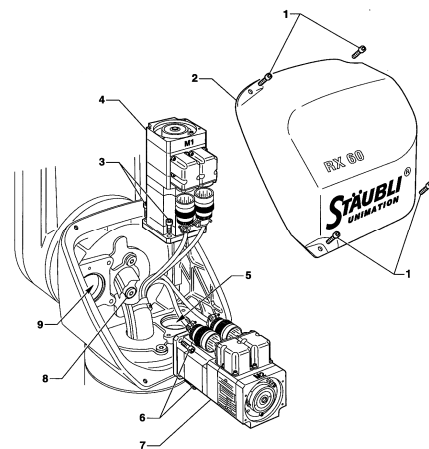


Fig. 4.12. Motores de los ejes 2 y 3

es posible regular fácilmente su par y velocidad variando la frecuencia de la tensión de alimentación. Este motor es de construcción análoga al motor de c.c. sin escobillas y tiene las ventajas de él, pero además tiene mayor potencia a igualdad de peso. (Fig. 4.12)

El accionamiento neumático se emplea únicamente para accionar el eje lineal de algunos robots SCARA y las pinzas y algunas de las herramientas que se les acoplan a los robots.

**Detectores de la posición y de la velocidad.**- Para poder controlar el movimiento del robot, es necesario detectar la posición y velocidad de cada uno de los ejes y realimentar estos datos en la cadena de regulación. Sin entrar en detalles de los tipos de sensores de posición, los mas usados son los encoders ópticos seguidos por los resolvers, que son mas baratos y robustos que los anteriores, pero tienen menos resolución y ofrecen datos mas ambiguos al estar basados en la generación de señales analógicas de tipo electromagnético. Otros tipos de sensores que también se usan son las reglas ópticas y las inductosyn, que son los equivalentes en detector lineal a los encoders rotativos y resolvers respectivamente. Las tacodinamos se emplean muy poco y los potenciómetros lineales o circulares prácticamente nada por su falta de resolución para la robótica.

**Sistemas de transmisión.**- Aunque se emplean accionamientos directos, es mas normal emplear sistemas de transmisión y transformación del movimiento para accionar los ejes del robot, ya sean estos de traslación o de rotación. (Fig. 4.13). Las características que deben cumplir estos sistemas son:

- Robustez y rigidez con poco peso.
- Larga duración con poco mantenimiento.
- Transmisión regular con juego mínimo.
- Elevada relación de transmisión con tamaño y momentos de inercia reducidos.

Los sistemas que pueden cumplir estas características son los siguientes: reductor armónico, reductor piñón-corona cónicos, correa dentada-polea, tornillo sin fin-corona, husillo con tuerca a bolas, correa dentada con guía lineal de bolas, piñón cremallera, etc.

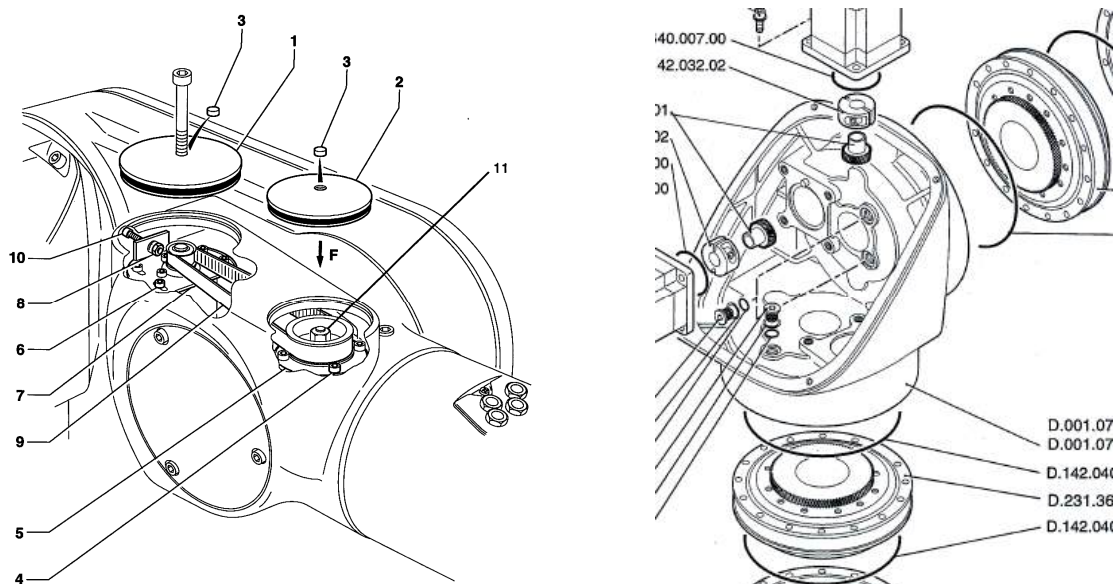


Fig. 4.13. Transmisiones de un robot articulado

#### **4.7.- APLICACIONES Y VENTAJAS DE LOS ROBOTS.**

El aumento de las prestaciones de los robots, ligadas al desarrollo de la informática y la electrónica y la flexibilidad para adaptarse a muchos de los procesos de fabricación con solo cambiarle el programa y la herramienta acoplada a su “mano”; hacen que los robots sean uno de los elementos fundamentales de los sistemas de fabricación flexible a los que tiende la industria actual; no obstante hay otros sistemas de automatización que sobre todo para tareas sencillas, requieren menor inversión inicial y aventajan en prestaciones particulares a los robots.

**Aplicaciones.-** Las aplicaciones de los robots abarcan numerosos campos. En la industria se emplean en fabricación, montaje y también en mantenimiento; fundamentalmente en operaciones de: soldadura en sus diversos tipos, ensamblado y montaje de piezas, inserción de componentes electrónicos en circuitos impresos, mecanizado (incluyendo la carga y descarga de piezas en las máquinas), modelado de plásticos, paletizado, manipulación y manejo de materiales, pintado, etc. En España, a finales del año 2001, la soldadura era la aplicación dominante con un 54% de los robots operativos, seguida por el moldeo de plásticos; por sectores industriales, el de la automoción empleaba al 68% de los robots.



Fig. 4.14. Aplicaciones de los robots

**Ventajas.-** Las principales ventajas del uso de los robots en la industria son las siguientes.

- Reducción de costes con respecto a soluciones semiautomatizadas o sin automatizar.
- Aumento de la productividad: a) como consecuencia de la optimización de las velocidades y ciclos de trabajo, b) debido a la fiabilidad y bajo mantenimiento de los robots que posibilitan elevados periodos de trabajo continuo.
- Mejora de la calidad en la producción como consecuencia de la ausencia de fatiga y de la eliminación de la variabilidad y los errores humanos.
- Mejora de las condiciones laborales, pues los robots sustituyen al hombre en tareas peligrosas, monótonas o repetitivas, duras, insalubres, etc.

#### **4.8.- IMPLANTACIÓN DE ROBOTS.**

En la década de los años 1980 comienza la evolución del mercado mundial de robots; en esta década, las ventas de robots aumentaron aproximadamente un 25 % de media anualmente. Durante los años 90 se produjeron importantes aumentos, pero también descensos debidos a la coyuntura económica, pero en conjunto la tendencia en las ventas fue positiva; Los años 2000 y 2001 han sido algo irregulares en este aspecto, en el 2000 en general se han mantuvieron o aumentaron las ventas, pero en el 2001 bajaron especialmente en EEUU y Japón, que son los países con mayor implantación de robots; no obstante las previsiones para los próximos años son de que se produzcan aumentos generales en las ventas de robots.

Para comparar el grado de empleo de robots entre países, se usa el llamado índice de robotización o densidad de robots, que es el número de robots en funcionamiento por cada 10.000 operarios del sector industrial de un país. Atendiendo a este índice, Japón es el líder mundial en empleo de robots seguido por Singapur, Corea y EE UU. Aun teniendo en cuenta que en Europa el concepto de robot es más restrictivo, en conjunto está menos robotizada que los países anteriores; atendiendo tanto a la densidad de robots como al número total, es Alemania el país más robotizado seguido por Italia; España está creciendo más rápidamente que otros países europeos y se encuentra por densidad entre Francia y Reino Unido. En los gráficos siguientes elaborados con datos de la organización UNECE, se ve el crecimiento del número de robots operativos en España y la densidad en comparación con Francia y Reino Unido.

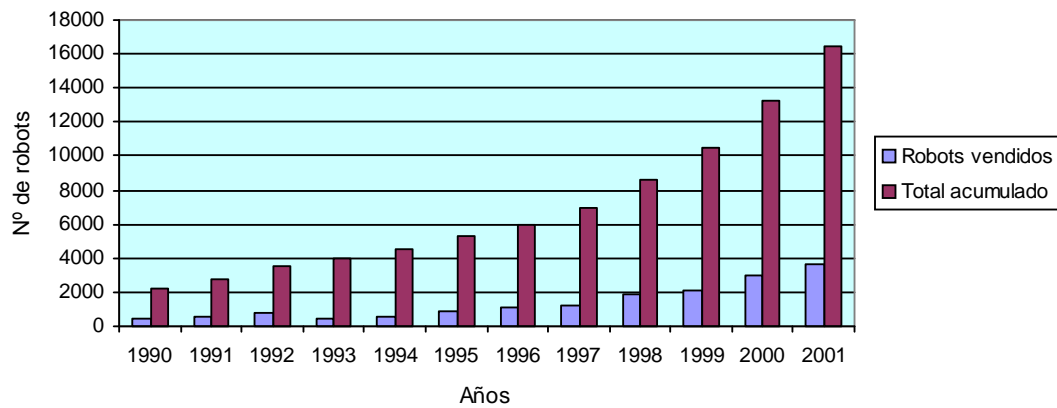


Gráfico 4.1. Evolución del parque de robots en España

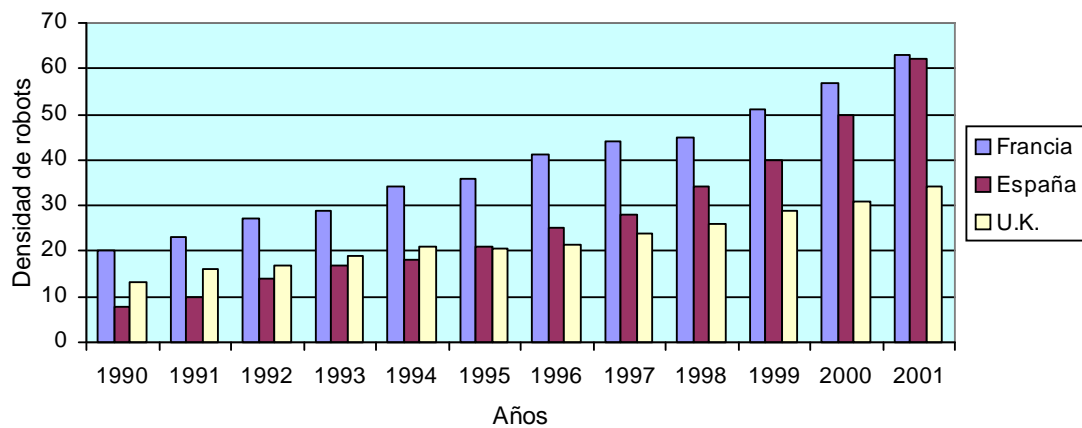


Gráfico 4.2. Densidad de robots en España, Francia y Reino Unido

Podemos apreciar en los gráficos anteriores que en España la tendencia en el empleo de robots es claramente ascendente; ya se ha comentado que a nivel mundial también lo es y una de las razones es que el coste de los robots está disminuyendo claramente con relación a los costes laborales de las tareas que realizan, lo cual supone que cada vez resultan más rentables.

#### **4.9.- PROGRAMACIÓN DE ROBOTS.**

Programar un robot consiste en indicar la secuencia de operaciones (moverse a puntos preestablecidos, abrir o cerrar la pinza, esperar, etc.) que debe realizar el robot en modo automático. Por medio de programas realizados con un determinado lenguaje, gobernamos el funcionamiento de un robot. Los programas deben adaptarse a las tareas a realizar, ser eficaces, estructurados, entendibles, y fáciles de aplicar y modificar.

#### 4.9.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE PROGRAMACIÓN DE ROBOTS.

En función del sistema empleado para indicarle al robot la secuencia de operaciones que debe realizar, hay dos métodos de programación: programación por guiado también llamada gestual o por aprendizaje y programación textual.

**Programación por guiado.-** En la programación por guiado o aprendizaje, el programador mueve el brazo del robot a lo largo de la trayectoria deseada y graba los puntos y configuraciones en el controlador del robot; posteriormente el robot podrá repetir cíclicamente el programa grabado; este método es fácil de aprender y necesita poca memoria para almacenar la información, por el contrario: el robot y su entorno no pueden usarse en producción durante su programación, no se genera documentación, hay dificultades para realizar programas complejos y el método no es compatible con ayudas a la programación como el CAD/CAM. Este método es el que más se emplea en los primeros tiempos de la robótica. A su vez el guiado puede ser activo o pasivo.

- **Guiado activo.-** El programador mueve el brazo del robot con el propio sistema de accionamiento del robot, a través de la maleta de programación o teach-pendant; además de los movimientos, se pueden introducir en el programa otras variables y funciones como: velocidades de ejecución, estado de sensores, modificaciones de puntos de programa, etc.
- **Guiado pasivo.-** El programador mueve manualmente el brazo-robot; si este es pesado, se pueden hacer las maniobras con un doble o maestro igual al propio robot pero más ligero y manejable. El guiado pasivo se emplea en aplicaciones de soldadura y pintura; el operario mueve la muñeca del robot o del maestro de este y se memorizan las trayectorias que después repetirá el robot real.

**Programación textual.-** En la programación textual, mediante un lenguaje de alto nivel se editan off-line (mediante un editor de programas) una serie de instrucciones que indican las acciones que debe realizar el robot; el control calcula las trayectorias que debe seguir la muñeca o la herramienta, en función de la coordenadas de los puntos programados. Atendiendo al nivel de abstracción del lenguaje, tenemos tres niveles: nivel tarea, nivel objeto y nivel robot.

- **Nivel tarea u objetivo.-** El programa se reduce a una única expresión que especifica lo que debe hacer el robot pero sin decirle como; por ejemplo, coloca la pieza A en el almacén B
- **Nivel objeto.-** Además de la tarea se le dice como hacerla; por ejemplo: coge la pieza A y déjala en el posicionador C, coge la pieza A por el extremo A1 y déjala en el primer apartado libre del almacén B.
- **Nivel robot,.** Es necesario especificar todos los movimientos elementales que debe realizar el robot, así como: velocidades, tiempos, accionamientos de la herramienta, etc.

Actualmente los lenguajes de nivel objeto y tarea están en fase de investigación y desarrollo, con lo cual se emplean muy poco en la industria.

La forma habitual de programar actualmente, se basa en una combinación de la programación textual con la de guiado. Por una parte, empleando lenguajes de nivel robot, se editan off-line las instrucciones que necesita el robot para efectuar la secuencia de movimientos y otras acciones de la tarea a realizar. Por la otra parte, guiando al robot on-

line, se memorizan los puntos (posiciones) necesarios, asignándoles la misma variable utilizada en la programación textual.

#### 4.9.2.-LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN DE ROBOTS

No hay un lenguaje normalizado de programación de robots. Los fabricantes principales tienen sus propios lenguajes de programación, sobre los que van haciendo nuevas versiones; el dato a favor es que la mayoría de estos lenguajes tienen algunas instrucciones análogas, por que se derivan de lenguajes informáticos como el Pascal fundamentalmente. Aparte de las instrucciones típicas de gestión de discos, archivos y edición de programas; tienen instrucciones del tipo: Goto, If...Then...Else...End, For...To...Step...End, Case...Of, etc.; y otras mas específicas de robótica como: Move, Moves, MoveL, MoveC, Appro, Speed, Open, Signal, Drive, Set, etc. Se tiende a la estandarización de lenguajes, pero por ahora se usan varios como: el RAPID de ABB, VAL II y VAL III de UNIMATION, KAREL de FANUC, V+ de ADEPT y STAUBLI.

#### **4.10.- EJEMPLOS DE PROGRAMACIÓN CON V+.**

**Ejemplo 1.-** Trata de un trabajo y programa sencillos. En un puesto de una Célula de Fabricación Flexible, un robot que lleva en su mano un sistema de marcaje y una pinza, hace una marca en forma de L (puntos m, m1 y m2) y después coge una pieza (pieza) de un almacén y la coloca en un asiento (asiento). La comunicación con el entorno se realiza a través de E/S; salidas del PLC, activan entradas del robot y salidas del robot activan entradas del PLC. Con los puntos m, m1, m2, pieza, asiento y #espera, programados por guiado y el siguiente programa textual; el robot realiza cíclicamente la tarea descrita.

El texto que va a partir del punto y coma, no produce ningún efecto, es solamente información que puede poner el programador si lo cree conveniente.

```
.PROGRAM ejemplo1()
    WAIT SIG(1001) ;espera a la señal de comienzo de ciclo.
    APPRO m, 10 ;aproxímate a 10 mm del punto de inicio de marcado.
    MOVES m ;muévete en línea recta al punto de inicio de marcado.
    BREAK ;espera a alcanzar la posición m para comenzar la siguiente
instrucción.
    SIGNAL 1 ;activa el sistema de marcado.
    SPEED 5 ALWAYS ;trabaja a velocidad 5 sobre 100 de la de monitor.
    BREAK
    MOVES m1 ;comienza el marcado en línea recta.
    BREAK
    MOVES m2
    BREAK
    SIGNAL -1 ;desactiva el sistema de marcado.
    DEPARTS 20 ;aléjate 20 mm en línea recta del punto m2.
    CALL coger();llama a un subprograma con instrucciones para coger una
pieza.
    CALL dejar();llama a un subprograma con instrucciones para dejar una
pieza.
    BREAK
    SIGNAL 2 ;activa la señal de fin de trabajo.
    DELAY 0.5 ;espera 0.5 segundos aproximadamente.
    MOVE #espera ;muévete al punto de espera hasta el siguiente ciclo.
    SIGNAL -2
.END
```

<pre> PROGRAM coger()   OPENI   SPEED 100   APPRO pieza, 40   SPEED 5   MOVES pieza   CLOSEI ;cierra la pinza y sigue cuando la hayas cerrado.   DEPARTS 60   RETURN .END </pre>	<pre> PROGRAM dejar()   SPEED 100   APPRO asiento, 40   SPEED 5   MOVES asiento   BREAK   OPENI ;abre la pinza y sigue cuando la hayas abierto.   DELAY 0.5   DEPARTS 60   RETURN .END </pre>
--	---

**Ejemplo 2.-** Se plantea una tarea semiautomática para emplear varias instrucciones del lenguaje V+. Por rentabilidad económica y por seguridad del operario, en la realidad, esta tarea se haría totalmente automática comunicando al robot, con el sistema de transporte de los palets.

Al puesto del robot, llegan palets no orientados (origen1) con respecto a las coordenadas principales (world) del robot, estos llevan 20 piezas en cinco filas de cuatro columnas, separadas 40 y 50 mm. respectivamente. El robot coge las piezas de una en una y las lleva al puesto de control (#test); si son buenas (entrada 1001 del robot) las coloca en el palet de buenas (de origen2, no orientado con World); si son malas las echa al contenedor de malas (#malas). El robot ofrece mensajes e instrucciones para el movimiento manual de los palets, en los momentos en que esta vacío el de entrada o lleno el de la salida; además da el dato de % de piezas malas con respecto a las totales.

Como en el ejemplo anterior se programa de forma mixta, los puntos: p1 a p6, #test, #malas y #reposo se programan por guiado, pero el pta y ptb se programan con la instrucción point, dándoles sus seis coordenadas con respecto al origen1 y al origen2 respectivamente.

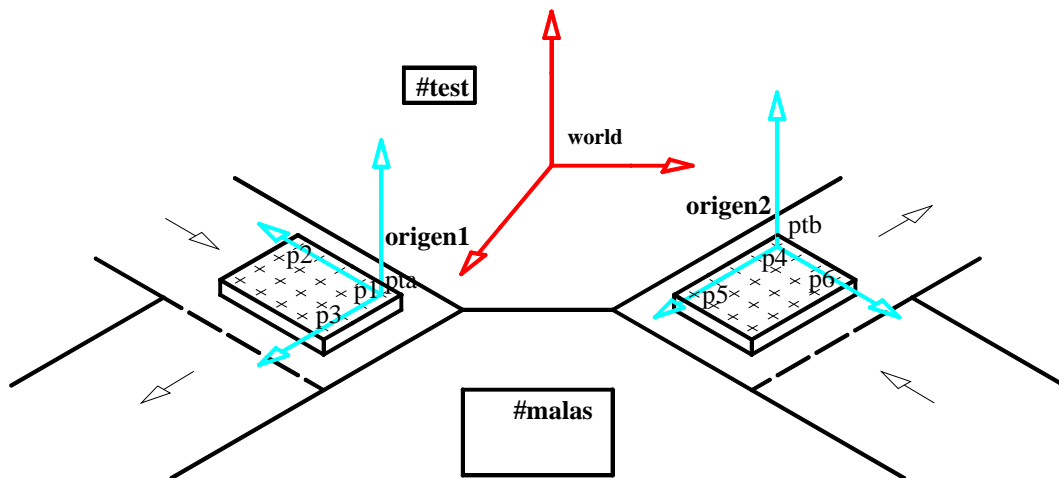


Fig. 4.15. Esquema de situación de los elementos del ejemplo 2

<pre> PROGRAM ejemplo2()   SPEED 50 ALWAYS   SET origen1 = FRAME(p1,p2,p3,p1); definir, crear un origen de coordenadas orientado con el palet de entrada   SET origen2 = FRAME(p4,p5,p6,p4)   to = 0   ma = 0   bu = 0 </pre>
---



```

10 FOR co = 0 TO 2
  FOR fi = 0 TO 4
    SET ptc = SHIFT(pta BY fi*40,co*50,0)
    CALL coger()
    to = to+1
    APPRO #test, 60
    MOVES #test
    DELAY 2
    DEPARTS 50
    IF SIG(1001) THEN
      MOVE #malas
      ma = ma+1
      OPENI
    ELSE
      CALL dejar()
    END
  END
END
TYPE "palet de entrada vació, poner nuevo palet y pulsar p2, si
queremos terminar, pulsar también p4"
WAIT SIG(1002)
IF SIG(1004) THEN
  GOTO 20
ELSE
  GOTO 10
END
20 MOVE #reposo
.END

```

```

.PROGRAM coger()
  OPEN
  APPRO origen1:ptc, 50
  SPEED 20
  MOVES origen1:ptc
  CLOSEI
  DELAY 0.5
  SPEED 20
  DEPARTS 20
  RETURN
.END

```

```

.PROGRAM dejar()
  SET ptb2 = SHIFT(ptb BY 0,50,0)
  SET ptb3 = SHIFT(ptb BY 0,100,0)
  CASE (bu) OF
    VALUE 0:
      SET ptd = ptb
    VALUE 5:
      SET ptd = ptb2
    VALUE 10:
      SET ptd = ptb3
    ANY
      SET ptd = SHIFT(ptd BY 40,0,0)
  END
  APPRO origen2:ptd, 50
  SPEED 20
  MOVES origen2:ptd
  OPENI
  DEPARTS 50
  bu = bu+1
  IF bu < 15 GOTO 30
  n = (ma/to)*100
  TYPE "el % de piezas malas es:", n
  TYPE "palet de salida lleno, poner
otro y pulsar p3"
  bu = 0
  WAIT SIG(1003)
30 RETURN
.END

```

#### **4. 11. TENDENCIAS DE LA ROBOTICA**

Las tendencias de la robótica, están en consonancia con las tendencias generales de la automatización; en concreto se consideran a continuación tres de los campos o áreas que afectan directamente a la robótica, estas son: las técnicas de simulación y programación off-line, el desarrollo e investigación en sensorica y el desarrollo e investigación en ordenadores con mas capacidad y velocidad de cálculos. Estas áreas, no son nuevas, pues ya se llevan años de trabajo en ellas y se han obtenido resultados positivos; falta que se desarrollen más y que los costes de producción e instalación se reduzcan para que sea rentable su aplicación en actividades de producción normales.

**Simulación virtual y programación off-line.-** La simulación virtual de instalaciones robotizadas, mas que una tendencia es una realidad que se esta imponiendo debido a las ventajas que supone el comprobar el funcionamiento de una instalación antes de su construcción real. Hay varios programas comerciales para realizar el diseño y la simulación, entre los que permiten simular el comportamiento de cualquier modelo de robot están: Robcad, Robotstudio, Igrid, Workcell, etc.; especifico para un robot en concreto, tenemos por ejemplo el conjunto de los V\_CAT, V\_TRAISIG y V\_ISUAL de Staubli. Como estos programas y sistemas están en fase de desarrollo tienen algunos de los siguientes inconvenientes: no todos son compatibles con otros sistemas CAD, no admiten librerías de todos los robots ni de otros elementos si las hay y algunos no se comercializan bajo entorno Windows.

Para realizar la simulación de una instalación de este tipo, primero se diseña en 3D con programas específicos o generales de CAD; en esta fase además del dibujo tridimensional de la instalación (modelado del entorno) se definen las características cinemáticas y dinámicas de los robots y de otros elementos móviles de la instalación. En la segunda fase se determinan las trayectorias, movimientos, velocidades y secuencias. En la tercera fase se realiza la simulación de todos los movimientos; en esta etapa se comprueban las posibilidades de la instalación, se corrigen errores, se detectan las interferencias y se optimizan el diseño, los utillajes y los tiempos de ciclo.

Estos paquetes de simulación pueden generar el programa de robot en un lenguaje neutro, por lo tanto una vez que se ha optimizado el sistema virtual y se ha comprobado su correcto funcionamiento, se genera este programa off-line y por medio de postprocesadores se puede convertir al lenguaje de los robots que se van a utilizar; como puede haber diferencias geométricas entre la realidad y el programa generado, será preciso realizar algunos ajustes y la calibración del robot, para introducir las compensaciones necesarias de tal modo que coincidan las posiciones teóricas y reales. Con la mejora futura de los programas de simulación, se podrán programar a nivel tarea el robot y otros elementos de la instalación.

#### **Sensores.**

Los sensores de: posición, presencia, distancia, velocidad, presión, fuerza, caudal, nivel, temperatura..., ya están bastante conseguidos; ahora se intentan mejorar los sensores táctiles,

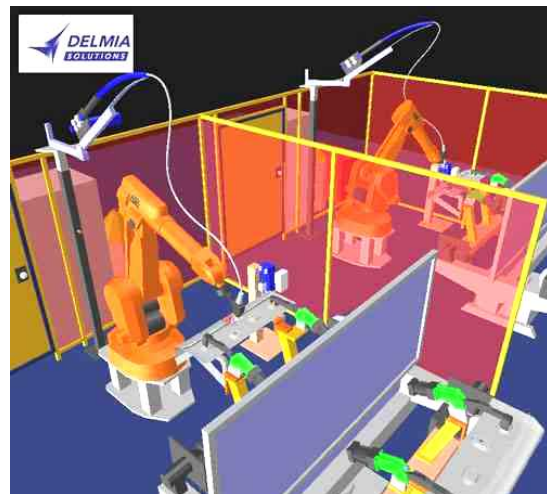


Fig. 4.16. Modelado y simulación de una célula robotizada.

los sistemas de visión, los sistemas de reconocimiento de voz y los sistemas de análisis y reconocimiento de sustancias.

Dotando a los robots y a su entorno se sensores, estos tendrán la capacidad para reconocer: formas, sustancias y obstáculos, y podrán adaptarse a las condiciones y a los cambios que se produzcan a su zona de trabajo.

### **Desarrollo e investigación en ordenadores.**

Los avances en la capacidad y velocidad en las comunicaciones y la potencia y velocidad de calculo, son básicos para que el ordenador del robot pueda procesar la información recibida de su programa y de los sensores, con el fin de pueda tomar opciones o decisiones casi en tiempo real. Los ordenadores actuales, no suponen un freno para el desarrollo de la robótica y además están en continuo progreso; no obstante ya se esta trabajando en otras tecnologías para la construcción de ordenadores, que en principio superarán ampliamente a los actuales; se trata de los ordenadores neuronales y de los cuánticos.

Los ordenadores neuronales (redes neuronales), por medio de microchips en paralelo, intentan imitar el comportamiento de las neuronas humanas. Estos ordenadores tendrán “cierta capacidad” de aprendizaje a partir de experiencias y aventajaran notablemente a los actuales en procesar la información para el reconocimiento de formas y la toma de decisiones.

Los ordenadores cuánticos van en la línea de trabajar con microchips que funcionan basándose en los principios de la mecánica cuántica, su unidad de información es el qubit que puede tener los estados 1 y 0 a la vez, los cálculos se realizan a nivel atómico y las operaciones se determinarán a partir del estado cuántico en que se encuentren estos átomos y del modo en que varía este estado; la corriente de un solo electrón cambia el estado cuántico. Estos ordenadores en principio tendrán una potencia de calculo muy superior a la de los actuales.

Prosperen o no estas u otras nuevas tecnologías, la tendencia en los robots es a dotarles de diversos sensores y controladores mas potentes que les permitan adaptar sus programas a las condiciones del entorno y tener capacidad de aprendizaje. Los robots de servicio podrán realizar de forma autónoma tareas diversas y en concreto se esperan crecimientos muy altos en el numero de microrobots con aplicaciones en mantenimiento y medicina; estos microrobots integran en un solo chip los actuadores, los sensores y la electrónica de control .