

# AUTOMÁTICA Y VISIÓN ARTIFICIAL



**José María Sebastián, Dr. I. I.**  
Prof. Titular de Ingeniería de Sistemas y Automática.

**Rafael Aracil, Dr. I. I.**  
Catedrático de Ingeniería de Sistemas y Automática  
ETSII de Madrid



## Introducción

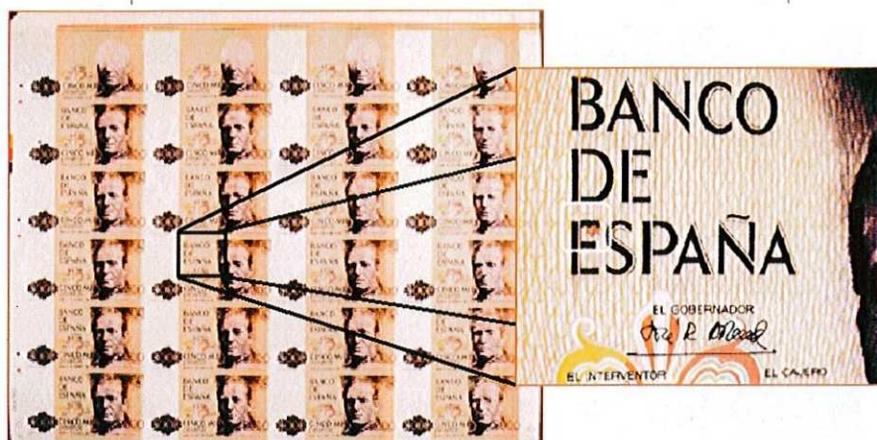
La Automática es la disciplina que utiliza información procedente de equipos de medida para generar las acciones que permiten el control del funcionamiento de los sistemas. Es evidente, y esto ocurre igualmente en el hombre, que la visión es el sistema sensorial con mayor capacidad de percibir el estado del medio físico que nos rodea. En este contexto se desarrolla la visión artificial como una disciplina integrada en la Automática. Ello sin excluir otros campos científicos y técnicos, como la Biología, la Geografía, la Medicina, etc. en las que la visión, como instrumento de percepción, tiene gran importancia.

La visión artificial se puede definir como la disciplina dedicada al estudio, diseño y análisis de sistemas optomecánico-electrónicos que pueden percibir el entorno por detección espacio-temporal de patrones de radiación electromagnética con el fin de realizar alguna función práctica. Unido a este concepto se define la Ingeniería de visión (*Machine Vision*) como la Ingeniería de los sistemas de visión artificial, es decir, la tecnología que integra los métodos de captación de imágenes, los de transmisión, procesado y almacenamiento de las mismas y los de presentación al usuario o transformación en señales de control. En un contexto parecido, pero claramente diferenciado, se encuentra la visión por ordenador, que se puede definir como la interpretación de imágenes mediante ordenadores. Esta última comprende exclusivamente los aspectos algorítmicos y se desarrolla en un contexto informático. Frecuentemente se asocia la visión artificial a la visión por ordenador obviando las dificultades de la Ingeniería de la visión. Otros campos afines son la Inteligencia artificial (*Artificial Intelligence*), el Reconocimiento de patrones (*Pattern Recognition*), o el Procesamiento de imágenes digitales (*Digital Image Processing*).

En el contexto mencionado de la Automática nos referiremos a los procedimientos destinados a obtener información visual sobre el funcionamiento de un proceso o máquina para realizar su automatización. Se profundiza en los contenidos de la Ingeniería de la visión, describiendo los dos grandes campos principales de aplicación de la visión en la industria como son el control de calidad y la percepción para máquinas y robots. Igualmente se realiza una comparación entre visión humana y visión artificial que permite la evaluación de las posibilidades de esta última.

## Comparación de la visión artificial con la visión humana

Para evaluar las prestaciones de un sistema de visión artificial es necesario realizar una comparación entre los llamados sistemas de visión artificial y la visión humana. Por una parte, es obvio que se está muy lejos de alcanzar, ni siquiera remotamente, la capacidad de reconocimiento de formas complejas que el ser humano posee. Baste decir que el ser humano puede en décimas de segundo recoger y tratar gran cantidad de información, comprendiéndola, interpretando partes no visibles. Puede igualmente reconocer escenas vistas desde distintos ángulos o en condiciones variables de iluminación. Sin embargo, la visión humana también posee limitaciones: no da medidas precisas de magnitudes físicas, tales como distancias, áreas o volúmenes, ni tampoco acepta bien desempeñar tareas rutinarias como, por ejemplo, procesos de inspección en cadenas de producción. De alguna manera, se puede decir que ambas visiones son complementarias y esta faceta es



*Inspección de pliegos de billetes de Banco.*

*Inspección mediante sensores térmicos.*

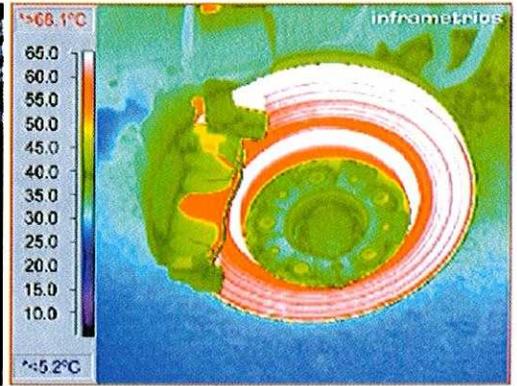
lo que hace a los sistemas de visión artificial técnica y económicamente rentables.

El empleo del reconocimiento visual, ya sea humano o artificial, en los procesos industriales es muy importante. Así, se emplea en un elevado número de tareas, que van desde el manipulado, el mecanizado, el acabado, el ensamblado y el control de calidad, y que abarcan todas las fases del producto, desde el diseño hasta la salida al mercado. El motivo es obvio: reúne muchas ventajas. Permite obtener gran cantidad de detalles del producto: su forma, color, textura, acabado superficial, acabado de la pintura, contaminación superficial, etc. Potencialmente es muy rápido. Además, es inocuo, no contaminando el producto durante la observación, sin contacto, no deformándolo, y los niveles de iluminación requeridos no le suelen afectar.

Como contrapartida a las anteriores características, el empleo de la visión humana en tareas productivas presenta también bastantes inconvenientes:

- No se adapta bien a tareas repetitivas, variando su nivel de atención. Esto origina por un lado que no sea fiable viéndose influida por factores adicionales como son la fatiga, la incomodidad, la enfermedad o el estado de ánimo. Por otro, que no sea objetiva cambiando según el operario o el turno.

- El ser humano mide por comparación, lo cual puede dañar en ocasiones el producto. Necesita tener referencias, tanto métricas como colorimétricas. A modo de ejemplo, hay que destacar el amplio rango dinámico del ser humano, que le permite distinguir colores muy similares cuando están juntos, pero que le impiden clasificarlos por separado.



- No puede realizar medidas de superficies o de volúmenes por la falta de patrones de comparación adecuados.

- El ser humano no puede inspeccionar en condiciones peligrosas: temperatura, radiación, atmósferas tóxicas, alto nivel de humos, excesivo nivel de ruido, riesgo biológico o de explosión.

- Puede ser una opción no rentable.

- Es poco gratificante y motivadora para el ser humano.

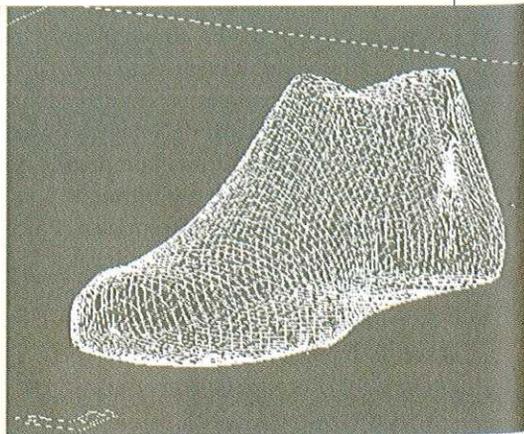
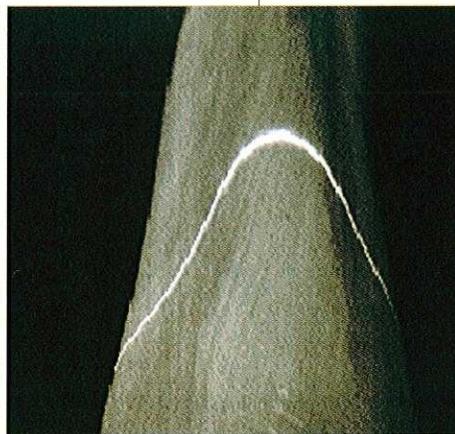
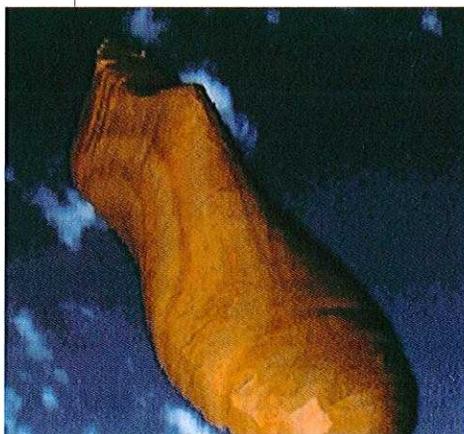
Todos estos aspectos, unidos al abaratamiento de los productos informáticos, han originado una importante implantación de sistemas de visión artificial en la industria. Su utilización aporta entre otras las siguientes ventajas:

- Mejora en la calidad de los productos y de los procesos involucrados: detección de defectos más pequeños, manipulación más precisa de piezas, observaciones no visuales, etc.

- Mejora en la cantidad de los productos y de los procesos involucrados: mayor rapidez de inspección, mayor ritmo de la cadencia de producción, etc.

- Dota de percepción sensorial a un proceso global automatizado.

- Sustituye a los operarios tanto para evitar su presencia en entornos peligrosos como para abaratar costes de producción.



*Inspección tridimensional mediante luz estructurada.*

- Incrementa la fiabilidad eliminando criterios subjetivos.

Estas facetas permiten utilizar los sistemas de visión artificial en una gran variedad de puntos de la cadena productiva siempre que se logre un compromiso eficiente entre sus tres características fundamentales: precisión, coste y velocidad.

No obstante, su utilización dista todavía de ser idílica por seguir existiendo importantes limitaciones entre las que destacan:

- Mala adaptación a situaciones imprevistas como pueden ser la ocultación temporal de la escena, falta temporal de iluminación o presencia de objetos no modelados.
- Ausencia de equipos genéricos, que impide la posibilidad de ofrecer soluciones a distintas aplicaciones sin ayuda de personal especializado.
- Dificultad para simular el reconocimiento humano, que, en muchas ocasiones, se emplea como referencia.

### Ingeniería de visión

Como ya se ha comentado, existe en la literatura especializada una gran confusión entre los términos visión artificial, visión por ordenador e Ingeniería de visión. Este artículo se enmarca en un ámbito de Ingeniería y, por tanto, es esta última disciplina la que describiremos preferentemente.

La diferencia entre Ingeniería de visión y visión por ordenador se asemeja a la que puede existir entre Ingeniería y Ciencia. En la tabla se esquematizan las diferencias entre ambas no destacándose, por el contrario, las similitudes, muy numerosas.

Entre las características más destacables de la Ingeniería de visión está su claro carácter multidisciplinar englobando diversas áreas. Así, un experto teórico de la visión

por ordenador podría tener serios problemas para abordar una aplicación práctica de Ingeniería de visión que involucrase soluciones mecánicas, ópticas o lumínicas. Entre las técnicas involucradas en la Ingeniería de visión, se pueden destacar las siguientes:

- Algoritmos para la **interpretación de imágenes**. Técnica común con la visión por ordenador aunque con distinto enfoque.
- **Electrónica digital y analógica**. Permite aumentar la velocidad de procesamiento, o reducir el ruido en las señales.
- **Comunicaciones entre dispositivos electrónicos**. Se engloban aquí facetas como las redes de ordenadores para aumentar la potencia de cálculo, la conexión con otras máquinas de la fábrica o la sincronización en la captura de imágenes.
- **Tecnología de sensores**. Permite captar imágenes, de origen visual o no, con estructura unidimensional, bidimensional o tridimensional.
- **Óptica**. Permite simplificar la dificultad de los problemas de adquisición.
- **Iluminación**. Componente fundamental para cualquier aplicación. Normalmente es necesario también aislar al sistema de la iluminación ambiente.
- **Ingeniería industrial**, que reúne conceptos que van desde la robustez del sistema en entornos industriales a la seguridad del personal involucrado directa o indirectamente en el mismo.
- **Ingeniería mecánica**, para el posicionado controlado de las piezas (según la estrategia de adquisición) o su manipulación.
- **Técnicas estadísticas de control de calidad** de la producción.
- **Interfase con el operario** para permitir una cómoda comunicación con el mismo.

Características	Ingeniería de visión	Visión por ordenador
Motivación	Aplicada-Industrial	Académica-Científica
Avances teóricos	Escasos	Numerosos
Entrada	Productos	Ficheros de datos
Salida	Señal sencilla, para controlar un equipo externo	Señal compleja para ser interpretada por un humano
Coste	Crítico	Sin importancia
Hardware específico para procesamiento a alta velocidad	Muy frecuente	Poco frecuente
Soluciones al margen del procesamiento	Frecuente (ajustar la iluminación)	Nunca
Criterio de evaluación	Rentabilidad, fiabilidad, funcionalidad	Prestaciones teóricas
Solución adoptada	Satisfactoria	Óptima
Campo	Ingeniería	Ciencia
Campo multidisciplinar	Si	No
Tipo de operación	Automática	Interacción humana
Nivel del operador	Muy bajo	Muy alto
Velocidad de procesamiento	Crítica	No crítica

Es preciso destacar que la Ingeniería de visión no implica necesariamente la presencia de un ordenador tradicional, pero sí evidentemente una o varias unidades de procesamiento como es el caso de: DSP (*Digital Signal Processing*), FPGA (*Filed-Programmable Gate Arrays*), Redes digitales especializadas (*Specialized Digital Networks*), Dispositivos opto-electrónicos y Sistemas híbridos. Igualmente la imágenes no solamente son de origen visual; la información captada en otras franjas del espectro electromagnético puede ser igualmente valiosa como, por ejemplo, rayos-X, ultravioleta, infrarroja o ultrasónica.

Los dos campos más importantes de aplicaciones industriales de la visión artificial son los siguientes:

- **Inspección visual automatizada o control de calidad** de los productos. Proceso automático para decidir si un determinado producto cumple con un conjunto de especificaciones previamente establecidas, definidas como estándar de calidad.

- **Supervisión y percepción en procesos y máquinas.** Están íntimamente ligados a los elementos mecánicos o de control que intervienen en el proceso: robot, manipulador, máquina, sistema de transporte o sistema autónomo.

Hay que destacar que también existen aplicaciones compartidas. Aprovecha la implantación de un sistema para realizar ambas funciones: por ejemplo, se inspecciona cuando se manipula.

### Inspección visual automatizada

La inspección se define como el proceso seguido para decidir si un determinado producto cumple con un conjunto de especificaciones previamente establecidas, definidas como estándar de calidad. Conviene distinguir entre la inspección automatizada como aquélla que realiza el proceso de inspección de forma automática, sin intervención humana durante el proceso y, dentro de ella, la inspección visual automatizada que realiza el proceso de inspección de forma automática apoyada en un sistema de visión artificial.

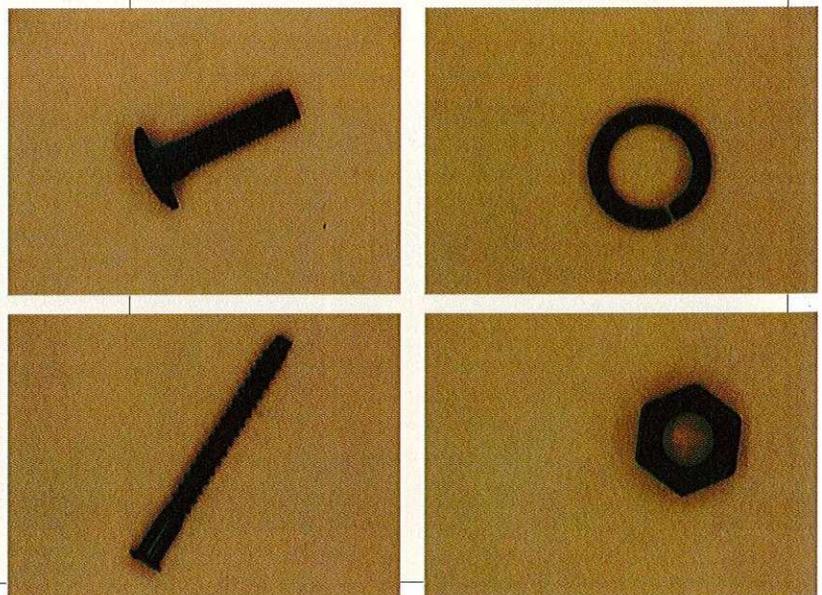
Durante los últimos veinte años son numerosas las aplicaciones instaladas en una amplia gama de campos de aplicación. A ello ha influido decisivamente el abaratamiento y la difusión de los ordenadores y otros componentes. Sin embargo, aún existen condicionantes, al margen de los tecnológicos, que limitan su plena difusión. Es bien conocida la inexistencia de sistemas de visión artificial genéricos que puedan abordar de forma rentable cualquier aplicación. Hasta hace pocos años,

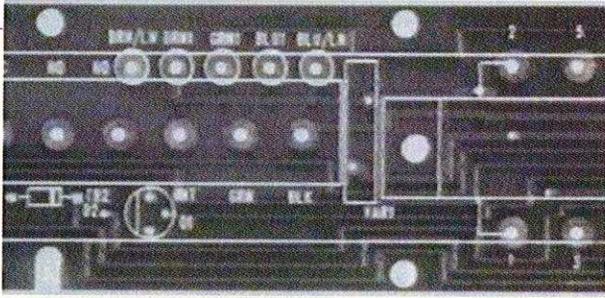
*,Reconocimiento y clasificación de piezas.*

la instalación de un sistema de visión artificial implicaba la participación de un profesional con conocimientos de al menos las siguientes técnicas: óptica, iluminación, mecánica, equipos de captación e informáticos, procesamiento de imágenes y desarrollo *software*. La tendencia actual es la utilización de sistemas integrados (captación y procesamiento), con innegables ventajas de precio y tamaño aunque todavía no permiten su utilización por personal no cualificado.

En los artículos de difusión y en la literatura especializada son numerosas las aplicaciones descritas, abarcando todo tipo de campos industriales. No resulta fácil extraer conclusiones globales que permitan realizar clasificaciones de los mismos. No obstante, y aún a costa de cometer omisiones, las aplicaciones se pueden clasificar según distintos criterios productivos como, por ejemplo:

- **Naturaleza del producto:**
  - Productos discretos.
  - Productos continuos.
- **Ubicación del producto a inspeccionar**
  - Material de entrada. Análisis de las especificaciones requeridas en el proceso de fabricación
  - Producto intermedio. Permite un control en línea del proceso productivo. Especialmente indicado en defectos repetitivos.
  - Producto acabado. Determina la aceptabilidad del producto final.
- **Porcentaje de productos a inspeccionar**
  - Inspección 100%. Se inspeccionan todos los productos.
  - Inspección por muestreo. Con el objetivo de validar lotes o detectar fallos repetitivos.
- **Naturaleza de las especificaciones productivas según su funcionalidad:**
  - Inspección cualitativa. El producto no cumple una característica funcional.





Inspección de un circuito eléctrico.

- Inspección cuantitativa. Unas variables deben de estar dentro de unas tolerancias; en caso contrario existe un defecto.
- Inspección híbrida. Según el grado de aceptación de una característica.
- Inspección implícita. Reconocimiento de defectos no definidos previamente.
- Naturaleza del defecto, según su generación:
  - Esporádicos.
  - Repetitivos (puede estar motivado por fallo en el proceso de producción).
  - Degenerativos (puede ser por desgaste de un útil).

También es preciso destacar las características de funcionamiento más significativas de los sistemas de inspección visual automatizada que son las siguientes:

- Tamaño mínimo de las características a detectar
- Probabilidad de detección: repetitividad, robustez, incertidumbre.
- Número de falsos rechazos.
- Velocidad de inspección. Control en tiempo real.
- Coste de los equipos.
- Características operativas.
- Complejidad de la estrategia de inspección (por ejemplo del patrón de comparación)
  - Flexibilidad para adaptarse a los cambios del producto.
  - Interfase de usuario.

### Supervisión y percepción en procesos y máquinas

El otro gran campo de aplicación de la visión artificial es la supervisión y percepción en procesos y máquinas, especialmente en robots. Es evidente que, para los seres vivos, la fuente más importante de información sobre su entorno es la vista. En el caso de dispositivos artificiales, y especialmente cuando su funcionamiento supone algún tipo de movimiento, ocurre igual siendo la visión el sensor más frecuentemente utilizado.

Las imágenes de procesos está-

ticos pueden suministrar información para el control de los mismos, basándose en el análisis del color, tamaño, textura, etc. Por ejemplo, en los procesos de transformación de metales, como hornos o trenes de laminado, es posible situar cámaras que permitan, con las variaciones del color o la textura, un seguimiento del mismo o del estado de sus productos. Es muy importante citar las posibilidades que ofrecen los sistemas de visión por computador en la localización y dimensionado de incendios.

También en la supervisión de la realización de las acciones de un telecontrol. Por ejemplo, en las centrales o centros remotos de transformación de energía eléctrica, es habitual recabar información sobre el estado de determinados componentes, como interruptores, enclavamientos, etc., por medio de cámaras cuyas imágenes se transmiten al centro de control para su procesamiento y emisión del correspondiente parte de incidencias.

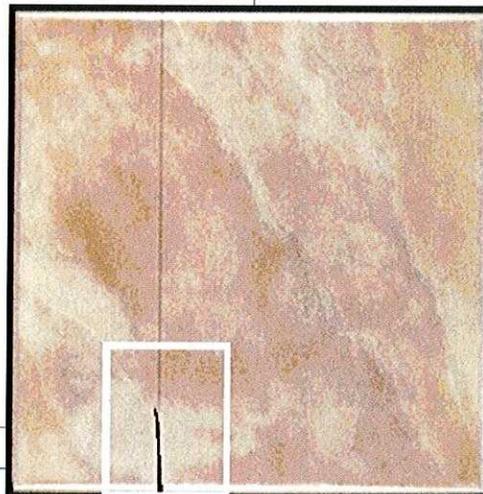
Pero donde más importancia tienen los sistemas de visión es en la percepción del entorno de sistemas en movimiento con vistas a recabar la información que permita su funcionamiento autónomo. Por ejemplo (y aunque se está todavía muy lejos de obtener resultados satisfactorios) son muy importantes los esfuerzos para desarrollar un sistema de percepción para automóviles que permita la conducción sin conductor.

Como extensión de este problema, se puede hablar en general del guiado de vehículos, en algunos casos con objetivos más simples como el guiado de robots móviles en interiores o el pilotado de ferrocarriles; en otros más complejos como la visión subacuática para la realización de tareas submarinas.

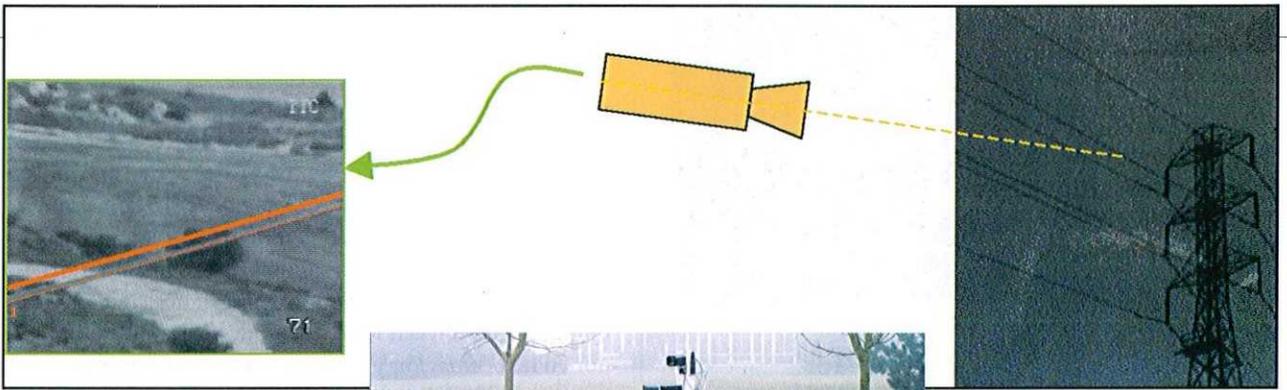
Cuando la velocidad del vehículo es muy elevada o los objetos tienen movimiento (como ocurre en el guiado de automóviles) o cuando los entornos hay que considerarlos tridimensionales (caso de entornos exteriores poco estructurados o vehículos aéreos o submarinos) el problema es mucho más complejo y no se han alcanzado soluciones satisfactorias. Estos problemas están aún en desarrollo en los Centros de investigación no existiendo realizaciones comerciales.

Otro tipo de sistemas con fuertes necesidades en

cuanto a visión por ordenador es el de los robots manipuladores. Para éstos existen sistemas comerciales de visión integrables en su sistema de control. La mayor parte trabajan con imágenes bidimensionales siendo capaces de, en función del contorno de los objetos situados dentro del campo de visión, identificar el tipo de objeto y determinar sus coordena-



Inspección de la serigrafía de una baldosa.



Guiado de un vehículo aéreo para la inspección de líneas eléctricas.

das. Entre otras son utilizables en las siguientes aplicaciones:

- Control de presencia de un producto. También se puede emplear para contar, clasificar o seleccionar.
- Manipulado de piezas palletizadas. El objetivo es determinar con precisión la posición para el posterior manipulado.
- Manipulado de piezas amontonadas (*Bin-Picking*). El objetivo es determinar la posición para el posterior manipulado.
- Mecanizado de piezas. Se emplea la información visual o simplemente se emplea en la carga y descarga de la máquinas.
- Ensamblado y desensamblado automático. Suelen intervenir varios tipos de sensores y movimientos acomodaticios.
- Seguimiento de objetos en movimiento. Con las lógicas restricciones de control en tiempo real.

Más complejo resulta el problema cuando la manipulación requiera información tridimensional de los objetos. Este problema, aún no definitivamente resuelto, requiere



Vehículo guiado mediante un sistema de visión.

equipos específicos como pares estereoscópicos, sistemas de iluminación especiales, etc., junto con procesos de cálculo complejos que hacen difícil su uso en tiempo real.

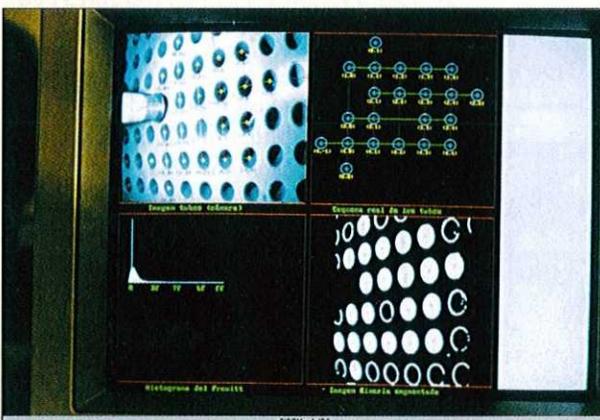
Además del citado reconocimiento de objetos, en Robótica hay abiertos muchos problemas en los que la visión es uno de los instrumentos principales. En este sentido se pueden citar:

- Guiado planificado de un robot. El procesamiento de una imagen permite determinar la trayectoria a seguir.
- Guiado reactivo de un robot. La percepción visual puede generar reacciones en la trayectoria.
- Control visual de la trayectoria de un robot. La precisión se determina con realimentación visual.
- Telemando. El procesamiento de una o varias imágenes se emplea en la ejecución asistida de un proceso.

### Conclusiones

Actualmente y en el contexto de la Automática (y más ampliamente en el de la Ingeniería), la visión artificial constituye una de las técnicas más atractivas para obtener información sobre el control de los procesos productivos, con múltiples posibilidades y amplio margen de rentabilidad. Sus prestaciones y coste han permitido una masiva utilización en múltiples actividades tanto en el contexto industrial como en otros. Las previsiones estiman un importante incremento en la próxima década, motivado tanto por el imparable crecimiento de las prestaciones de los ordenadores como por el no menos espectacular auge de las aplicaciones de las imágenes digitales.

Es bien conocido el actual mercado de la fotografía digital, el DVD, el video doméstico o los sistemas de seguridad y vigilancia, pero todavía escaso con el que se augura para los próximos años. Su desarrollo permitirá un descenso significativo del precio de los componentes de los sistemas digitales, a la vez que un incremento de sus prestaciones, con lo que aumentará significativamente la rentabilidad de las aplicaciones industriales de la visión artificial. ■



Planificador de trayectorias de un robot para la inspección de intercambiadores de calor.