

T - 2.14

ROBOTICA Y PERCEPCION ARTIFICIAL EN LA INDUSTRIA DE CURTIDOS: POSIBILIDADES Y AREAS DE APLICACION

RAUL SUAREZ., LUIS BASAÑEZ

Intitut de Cibernética - CSIC - UPC) - Barcelona- España

SUMMARY

ROBOTICS AND ARTIFICIAL PERCEPTION IN THE LEATHER INDUSTRY: POSSIBILITIES AND AREAS OF APPLICATION

In order for leather satisfy certain conditions in subsequent applications, the leather manufacturing process belongs to the type of processes called "batch processes", whose automation has different characteristics from that of the traditional "continuous processes".

The automation of the batch processes make use of devices and techniques such as industrial robots and artificial perception, which have had an important evolution in the last years.

However, within the batch processes the leather industries has specific problems which make its integral automation specially difficult. These problems are generated by the characteristics of the material itself and by the way it need to be handled. Firstly, the heterogeneity of the raw material due to the differences in stiffness, size, elasticity, texture, etc, of the leathers that are difficult to control in products of natural origin. The second characteristic problem is related to the manipulation of the material, mainly because of the combination of its malleability and its form (approximately flat with an extension much higher than the thickness), and also due to the material variations from one state to another (e.g. dry or wet).

As a direct consequence of the first of these specific problems, it appears the necessity of skilled workers to classify the pieces, performing a tedious inspection of each one. The experience is also necessary to control the product quality in each phase of the processing. At present, machinery and procedures with some degree of automation are used for tasks such as washing, unhairing, fleshing, dyeing, drying, stretching and ironing. However, the second specific problem associated to the material manipulation leads to machine load and unload and transfer between stages carried out by workers fully devoted to it.

The paper presents possible applications of Robotics and Artificial Perception and surveis the state-of-the-art of the automation of some of these typical leather industry tasks.

The following application areas are specially analyzed:

Inspection:

- Automatic classification of leathers after they have been unhairing and fleshing (in wet).
- Automatic measurement of the final leathers surface, even when they are not flat.

Manipulation:

- Automatic load and unload of machines (e.g. sodium sulfided spraying tunnels for unhairing and drying tunnels).
- Leathers transport between stages.
- Operation:
 - * **Automatic cutting of tanned leathers, with optimization of the final surface.**

RESUMEN

El proceso de fabricación de curtidos para que las pieles satisfagan ciertas condiciones en su posterior utilización cae dentro de los denominados "procesos por lotes", cuya automatización presenta características diferenciadas de la de los tradicionales "procesos continuos".

La automatización de los procesos por lotes requiere la utilización de equipos y técnicas tales como los robots industriales y la percepción artificial que han tenido un importante desarrollo en los últimos años.

La industria de curtidos presenta, sin embargo, problemas específicos dentro de los procesos por lotes, que hacen su automatización integral especialmente difícil. Estos problemas provienen de las características propias de los materiales y de la forma en que se ha de trabajar con ellos. En primer lugar, la no homogeneidad de la materia prima, ya que los cueros difieren en rigidez, tamaño, elasticidad, textura, etc; variaciones éstas muy difíciles de controlar en productos de origen natural.

El segundo problema característico está referido a la manipulación del material, debido principalmente a la combinación de su maleabilidad y su forma (aproximadamente plana con una extensión muy superior al espesor), y también a las variaciones que sufre al pasar de un estado a otro (seco o mojado, por ejemplo).

Como consecuencia directa del primero de estos problemas específicos, surge la necesidad de contar con personal de gran experiencia para llevar a cabo tareas de clasificación de las piezas mediante una tediosa inspección unidad por unidad. Igualmente, esta experiencia es necesaria para realizar el control de calidad en cada uno de los estadios del tratamiento de las pieles.

En la actualidad se utilizan maquinaria y procedimientos con cierto grado de automatización para tareas tales como lavado, depilado, descamado, teñido, secado, estiramiento y planchado. Sin embargo, el segundo problema específico asociado a la manipulación del

material hace que la carga y descarga de los cueros en cada caso, así como la conexión entre una etapa y otra, deba realizarse a mano por operarios totalmente dedicados a tales fines.

La presente ponencia pretende mostrar las posibilidades que ofrecen actualmente la Robótica y los Sistemas de Percepción Artificial en la automatización de algunas de estas tareas, propias de la industria del cuero.

En particular se analizan de manera concreta las siguientes posibles áreas de aplicación:

Inspección:

- Clasificación automática de pieles una vez depiladas y descamadas (en húmedo).
- Medición automática de la superficie del cuero terminado, aún cuando este no esté totalmente plano.

Manipulación:

- Carga y descarga automática de máquinas (por ej. túneles de rociado con sulfuro sódico para depilado y túneles de secado)
- Transporte de pieles entre una fase y otra.

1 INTRODUCCIÓN

La automatización de los procesos productivos es una de las tendencias que más claramente definen la evolución actual del sector industrial. Esta automatización reviste lógicamente diversos grados de dificultad que han marcado su desarrollo histórico.

La automatización de los **procesos continuos**, en los que se controlan variables que evolucionan de forma continua en el tiempo (posición, velocidad, temperatura, presión, etc), tiene sus raíces industriales en el siglo XIX, con el regulador de Watt para máquinas de vapor, pero es a partir de la Segunda Guerra Mundial y especialmente en la década de los 50, cuando los sistemas de control automático experimentan una gran expansión. En la década de los 60 comienza a generalizarse la utilización de computadores en control directo de procesos continuos, utilización que recibe un notable impulso con la irrupción de los microprocesadores en 1971 (Dorf, 1977).

Los microprocesadores abrieron nuevas y prometedoras perspectivas a la automatización tanto de los procesos continuos como de los **procesos por lotes**. De hecho, la automatización de estos últimos se dirigió inicialmente hacia los procesos de fabricación de grandes series, en los que la maquinaria y las líneas de producción **rígidas** y destinadas a gamas muy reducidas de productos, funcionan sobre la base de secuencias de operaciones fijas y determinadas.

La aparición del **robot industrial** ha cambiado esta situación al aportar a los procesos de fabricación **no masivos** un factor nuevo y esencial: la flexibilidad. El robot industrial constituye un elemento de gran importancia en el progresivo desarrollo de la automatización basada en técnicas de control con computador, y está contribuyendo de manera decisiva a su introducción en los procesos de fabricación de series medianas y pequeñas.

El concepto de robot industrial se considera establecido por primera vez en la patente "Programmed article transfer" presentada por George C. Devol en 1954 en los Estados Unidos. Cuatro años más tarde, la empresa Consolidated Control Inc. desarrolla un robot controlado digitalmente y, en 1962, aparecen los primeros modelos Unimate de Unimation Inc. (**Universal automation**) y Versatran (**Versatile transfer**) de AMF que son el preludio de gran número de los robots industriales hoy en uso.

El otro elemento en que se basa la automatización de los procesos por lotes es la **percepción artificial**, utilizada tanto para el guiado de robots como para tareas de inspección y control de calidad. En este campo destacan los sistemas de **visión por computador** que poco a poco van adquiriendo una importancia creciente en el entorno industrial.

Dentro de los procesos por lotes, la **industria de curtidos** presenta problemas específicos que hacen su automatización integral especialmente difícil, por lo que su desarrollo ha sido hasta la fecha muy reducido. No obstante, la necesidad de un abaratamiento de costes, unido a la conveniencia de suprimir puestos de trabajo desempeñados bajo condiciones de incomodidad y baja salubridad aconsejan explorar las posibilidades de aplicar las técnicas modernas de la Automática en esta importante industria.

El objetivo de esta ponencia es explorar algunas de las posibilidades y áreas de aplicación de las técnicas de la Robótica y de la Percepción Artificial en la industria de curtidos. Tras esta introducción, la sección 2 analiza las principales características diferenciales de dicha industria de cara a su automatización y las dificultades que las mismas implican. Las secciones 3, 4 y 5 exploran la utilización de las técnicas mencionadas en **Inspección, Manipulación y Procesado de las pieles**, respectivamente. La sección 6 expone las perspectivas y principales conclusiones, mientras que la 7 recoge diversas referencias sobre el tema.

2 CARACTERISTICAS DIFERENCIALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIDOS

Desde el punto de vista de la automatización, la industria de curtidos pertenece al grupo de procesos por lotes y, por tanto, le son aplicables los criterios generales de este grupo. No obstante, dicha industria posee unos aspectos diferenciales que hacen su automatización especialmente difícil. Estos aspectos pueden distribuirse en dos clases, según se refieran a características propias de los materiales o a la variabilidad de las mismas:

Características específicas de los materiales

- Forma aproximadamente plana
- Estructura flexible y con cierto grado de elasticidad
- Propiedades mecánicas no homogéneas

- Porosidad
- Textura no uniforme

Variabilidad de las características entre piezas

- Forma y dimensiones variables
- Dispersión de las propiedades mecánicas (rigidez, elasticidad, ...)
- Propiedades superficiales (textura, rugosidad, ...) diversas
- Fases húmeda y seca muy diferentes (peso, rigidez, ...)

Las características mencionadas y su gran variabilidad hacen imposible definir formas de inspección y operación automatizadas basadas en un número reducido y predefinible de casos. Igualmente, los dispositivos para la manipulación de las piezas requieren soluciones especiales de considerable complejidad.

3 INSPECCIÓN

La diversidad de características de la materia prima, comentada en el apartado anterior, hace necesaria la inspección detallada de las pieles, previamente al proceso de curtido, con el fin de detectar sus defectos (irregularidades, erosiones, desgarramientos, etc.) y clasificarlas según distintos niveles de calidad.

En esta misma línea, es igualmente importante la realización de medidas cuantitativas de las pieles, tales como área, máxima elongación, etc. Finalmente, y sobre el producto acabado han de realizarse diversos controles de calidad (color, área útil, uniformidad superficial, etc.) a fin de llevar a cabo su clasificación final y valoración.

Todas estas tareas, que hemos agrupado genéricamente bajo el nombre de **inspección**, actualmente se efectúan mayoritariamente de forma manual por operarios especializados, pero podrían ser objeto de un grado más o menos elevado de automatización, mediante técnicas de Percepción Artificial y, en especial, de Visión por Computador (Ballard y Brown, 1982).

3.1 Elementos de un Sistema de Visión por Computador

Básicamente, un sistema de visión artificial se compone de una serie de elementos interrelacionados cuyas funciones permiten agruparlos en la forma siguiente (Basañez, 1987):

Componentes de un Sistema de Visión

- Iluminación
- Adquisición de las imágenes
- Pretratamiento
- Procesado
- Comunicación con el operador
- Comunicación con otros sistemas o dispositivos

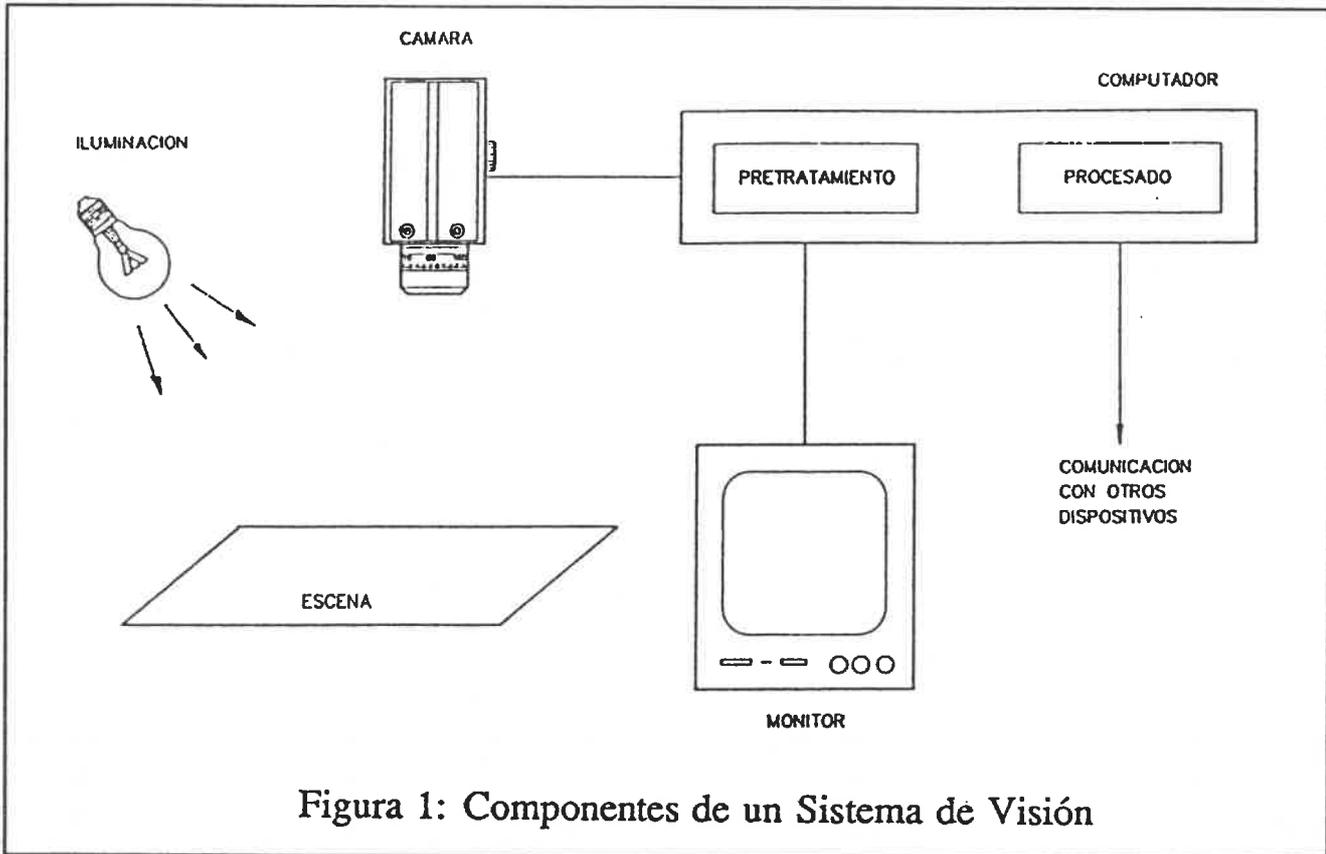


Figura 1: Componentes de un Sistema de Visión

En algunos casos no se utilizan dispositivos específicos de **iluminación**, por lo que ésta se reduce a la luz ambiental en la zona de trabajo. Sin embargo, una iluminación adecuada puede ser un factor determinante en el éxito del sistema de visión. En esta línea, cabe señalar la utilización de espectros distintos del visible, de luz estructurada o estroboscópica, de fuentes secuenciales de iluminación y de láser. La iluminación puede ser utilizada para identificar puntos, resaltar detalles, perfilar contornos e, incluso, suministrar información tridimensional, por lo que su estudio detallado es un paso importante en el diseño de un sistema de visión por computador.

La **adquisición de las imágenes** suele estar encomendada a una o varias cámaras de TV que utilizan como elementos sensibles dispositivos de estado sólido (CCD ó CDI) con geometría lineal o rectangular. Otros elementos que intervienen a menudo en la adquisición de imágenes son espejos, filtros y fibras ópticas, así como objetivos con características especiales (distancia focal variable, ...).

El **pretratamiento** comprende el conjunto de operaciones que preparan la imagen para su procesamiento posterior. Entre los elementos encargados del pretratamiento podemos citar los multiplexores que permiten conectar diversas cámaras y seleccionar aquella cuya imagen va a ser utilizada en cada instante; los digitizadores que convierten los niveles de intensidad de la imagen en una matriz de números; las memorias de imagen que almacenan una o varias de las matrices indicadas en forma accesible desde los elementos de proceso; y, finalmente, los dispositivos para filtrar la imagen, realzar algunos aspectos o realizar transformaciones sencillas.

La parte **inteligente** del sistema está encomendada a los elementos de **procesado** compuestos por una combinación de hardware y software. En la mayor parte de los sistemas actuales, el hardware está construido alrededor de un microcomputador asociado, en algunos casos, a un coprocesador matemático o a un procesador matricial para aumentar la velocidad de proceso. Algunos sistemas recurren a arquitecturas multiprocesador basadas en elementos especializados, como los transputers, que permiten un proceso muy eficiente. El software está formado generalmente por el sistema operativo, los editores y lenguajes de programación, las rutinas de procesamiento y las rutinas de comunicación y control.

La comunicación con el operador reviste formas bastante diferentes según los sistemas. Es frecuente que éstos dispongan de un monitor TV para que el operador pueda observar lo que el sistema está viendo, además de la información numérica y textual que pueda ser útil para el seguimiento. La programación suele realizarse a través de teclados generales o específicos, menús, lápices luminosos, etc., dependiendo no solo del tipo de sistema sino también de la aplicación.

Finalmente, la utilización de los resultados del procesado requiere la **comunicación con otros sistemas o dispositivos**, tales como el mecanismo de selección automática en una aplicación de inspección, o el controlador del robot en una de manipulación. La interfase más generalizada es la RS-232, aunque en muchas ocasiones se dispone de otras interfases serie normalizadas (RS-422, RS-423,...). Menos frecuente es la disponibilidad de interfases paralelas para la transferencia de datos a mayor velocidad. De gran interés para la compatibilidad y eficiencia es la existencia de buses normalizados, como el VME.

3.2 Funcionamiento de un Sistema de Visión por Computador

El funcionamiento operativo de un sistema de visión por computador puede dividirse en tres fases:

- **Adquisición**
- **Tratamiento**
- **Interpretación**

Estas tres fases se realizan en principio de forma secuencial, ya que cada una de ellas parte de los resultados de la fase anterior. Sin embargo, la ejecución de una fase puede desencadenar nuevamente fases previas oportunamente modificadas.

En la fase de **adquisición** se capta la imagen y se dispone su información en la forma requerida para la siguiente fase. Para ello, se incluye en esta fase una primera elaboración como puede ser el escalado y la digitización.

La segunda fase, de **tratamiento** puede abarcar aspectos muy diversos como corrección de distorsiones, eliminación de ruido, reducción del volumen de información, segmentación y extracción de características y primitivas.

diferencia de distancias al foco luminoso. Este problema puede reducirse parcialmente, disminuyendo la diferencia relativa de iluminación al alejar el foco luminoso o mediante la utilización de focos suplementarios con ejes normales a la superficie de la piel.

Las técnicas que parecen más prometedoras para esta aplicación son las basadas **análisis de texturas** en su aproximación estadística o de análisis estructural, y las coincidencia con plantillas. En cualquier caso, tal como se ha indicado, se trata aún de un problema abierto que requiere un considerable esfuerzo de investigación para alcanzar una solución práctica.

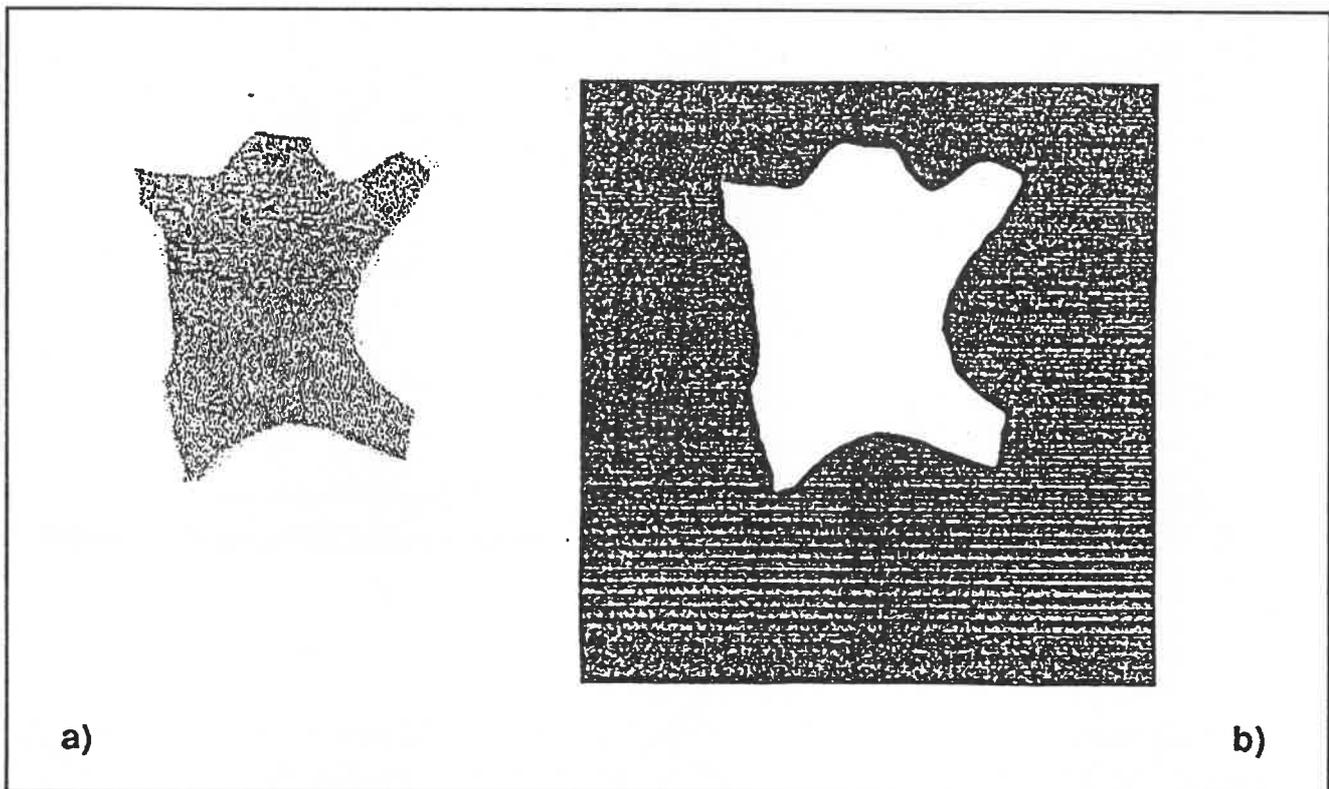


Figura 2: Determinación de la superficie de la piel: Imagen orinal, b) Imagen binarizada

La medición automática de la superficie del cuero terminado es un tema de considerable interés de cara a la clasificación final y valoración de la pieza, así como para determinar su posible utilización. Utilizando un sistema de visión artificial con una o varias cámaras con el eje óptico normal a la superficie de la piel, se trata de un problema relativamente sencillo para los métodos habituales de procesado de imagen.

Disponiendo la piel sobre una superficie adecuadamente contrastada, es elemental binarizar la imagen, etiquetarla y determinar el área de la piel por simple contaje de pixels. No obstante, el problema puede complicarse si la forma de la piel no es suficientemente plana y el error cometido al tomar como área de la misma la de su proyección sobre el plano soporte es apreciable. En este caso, será necesario obtener información tridimensional de la piel a fin de calcular la superficie real (Amat, Basañez y Torras, 1983; Suárez, 1989).

Probablemente, el método más eficiente para llevarlo a cabo es la utilización de luz estructurada, iluminando la piel con una línea de luz obtenida mediante de un rayo laser de baja potencia (p. ej. 0,5mW) y una lente cilíndrica. La línea de luz puede recorrer la piel,

efectuando un barrido guiado por el sistema y, a partir de las sucesivas imágenes obtenidas puede determinarse la estructura tridimensional y el área verdadera de la piel. Este sistema es considerablemente más complejo que el anterior, por lo que solo se justificará si los errores cometidos por aquél son inadmisibles.

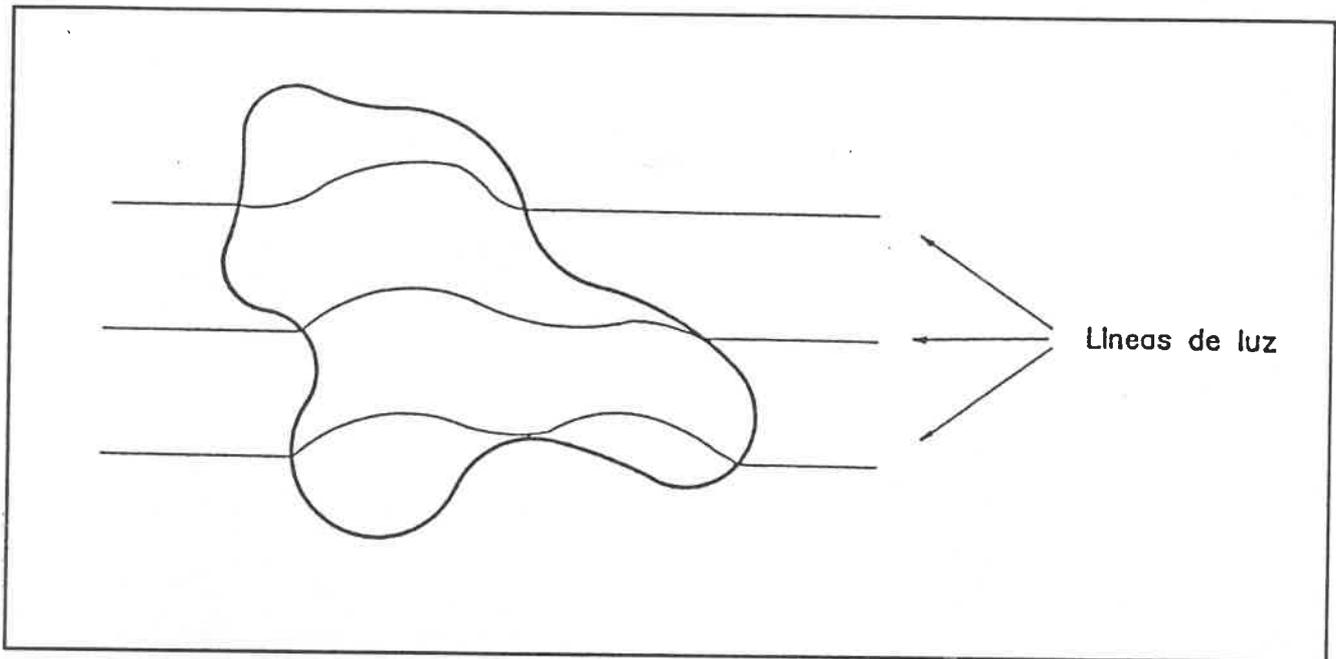


Figura : 3 Imagen con luz estructurada

4 MANIPULACIÓN

La manipulación de las pieles durante el proceso de curtido se realiza actualmente de forma básicamente manual. El intento de automatizar esta manipulación se ve dificultado de entrada por las características específicas indicadas anteriormente y por la considerable variabilidad de las mismas.

No obstante, parece claro que la manipulación automática de las pieles, si bien no tiene incidencia en la calidad del producto acabado, puede reducir apreciablemente la mano de obra directa del proceso de curtido y abaratar el coste final de dicho producto. Este es un motivo suficiente para justificar el esfuerzo de resolución de los problemas implicados.

Podemos distinguir dos grandes ámbitos dentro de la manipulación en un proceso productivo:

Carga y descarga
Transporte entre fases

Cada una de ellas comporta para su resolución un tipo distinto de dispositivo automático.

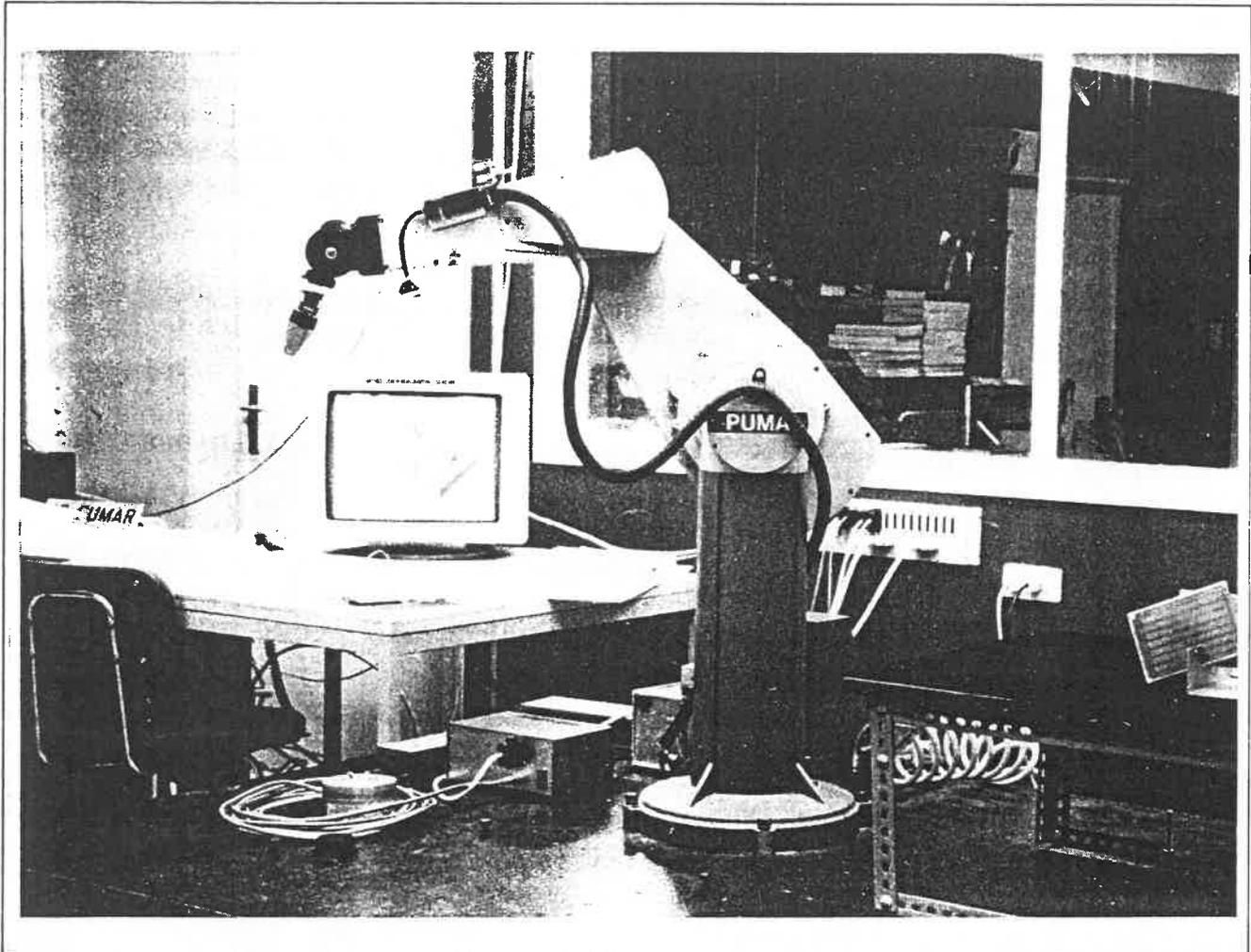


Figura: 4 Robot Industrial

4.1 Carga y descarga

El dispositivo de propósito general utilizado para este tipo de tareas es el denominado robot industrial (Ferraté y otros, 1986), si bien para casos específicos pueden emplearse manipuladores especialmente diseñados para ellos.

El robot industrial puede contemplarse como la conjunción de una estructura mecánica poliarticulada (brazo) y de un sistema electrónico (controlador) que incorpora uno o varios computadores. Este conjunto permite la programación y el control de los movimientos que debe realizar el **brazo** y la memorización de diferentes secuencias de trabajo, lo que confiere al robot una gran flexibilidad y le hace capaz de adaptarse a muy diversas tareas (Nof, 1985).

El brazo de un robot industrial suele tener una base firmemente ligada al entorno de trabajo y únicamente en casos particulares dicha base dispone de una movilidad reducida a lo largo de unas guías o de un carril, con la finalidad de aumentar el entorno al que puede acceder el robot o, incluso, sincronizar su desplazamiento al movimiento de una cadena de montaje.

En el extremo del brazo se sitúa el **elemento terminal** del robot que es el **órgano de aprehensión** (pinza, mano o garra) adecuado para efectuar la manipulación o la **herramienta** necesaria para realizar una determinada operación.

El caso A parece en principio el más complicado puesto que las pieles pueden estar totalmente arrugadas, o enrolladas sobre si mismas de formas muy diversas. Recoger en estas condiciones una piel con cierta precisión no es aparentemente una tarea que pueda resolverse mediante el uso únicamente de un robot aunque éste tenga una potente "capacidad señorial". La solución pasaría por un montaje más complicado, con maquinaria específica (entre la que podría incluirse un robot), que permitiese recoger las pieles y extenderlas o colgarlas de forma que pudiesen considerarse como caso C. De cualquier modo su costoso diseño sólo se justificaría cuando se tuviesen adecuadamente resueltos los casos B y C, cuyas soluciones parecen bastante más viables dentro del ámbito tradicional de aplicación de robots para manipulación.

El caso B puede presentar el problema adicional de que las pieles estén ligeramente pegadas unas a otras. Las soluciones posibles requieren poder identificar los límites de cada piel para utilizar metodologías de aprehensión convencionales, o la utilización de pinzas muy específicas. En caso de pieles con superficie relativamente lisa es posible utilizar garras multiventosa realizándose la sujeción por succión. En otras situaciones, por ejemplo, pieles con pelo, los dedos de la garra pueden llevar púas que se introduzcan en el pelo y permitan su sujeción.

El caso C, sin duda el más sencillo, permitiría la utilización de otros sistemas aparte de los ya mencionados, como por ejemplo el uso de monturas y bastidores que mantengan las pieles (o una gran parte de las mismas) extendidas en todo momento.

Salvando las circunstancias indicadas, la carga y descarga de las pieles no diferirá significativamente, en los restantes aspectos, de la efectuada con otras piezas y ampliamente difundida en la industria manufacturera.

4.2 Transporte entre fases

El traslado de las pieles entre diferentes máquinas y fases del proceso de curtido puede llevarse a cabo mediante una amplia gama de dispositivos de manutención, manuales o mecánicos. Dentro del contexto que nos ocupa, una solución atractiva es la utilización de **vehículos guiados automáticamente** (Boldrin, 1986).

Los vehículos guiados automáticamente para aplicación industrial son vehículos autopropulsados, sin conductor, con capacidad para recibir y proporcionar información, que pueden ser programados para efectuar un determinado recorrido y alcanzar una posición predefinida. En general, pueden seguir rutas diferentes de forma flexible, rutas que son, además, fácilmente modificables y ampliables.

Este tipo de vehículos fue desarrollado en los Estados Unidos de Norteamérica a partir de la década de los 50 y desde entonces ha experimentado una continua -- aunque no espectacular -- expansión.

Como dispositivos dedicados al traslado de materiales poseen diversas ventajas sobre otros sistemas con similar finalidad. Entre otras:

- Mejor utilización de los recursos
- Mayor control del movimiento de material
- Menor riesgo de daños en los productos
- Mayor regularidad en el suministro de material
- Flexibilidad en las rutas
- Capacidad de interacción con otros dispositivos automáticos

La principal contrapartida a estas ventajas es el coste comparativamente alto frente a otros sistemas y la necesaria adecuación de las instalaciones (caminos con suficiente holgura, radios de giro, etc.), además de la formación del personal que ha de programar y mantener estos vehículos.

Entre los sistemas de guiado habitualmente utilizados, podemos citar:

- Hilo conductor enterrado
- Cable empotrado
- óptico
- Campo electromagnético generado por hilo inductivo

Por lo que hace referencia a los sistemas de comunicación, los más generalizados son los basados en radiofrecuencia, infrarrojos o hilos transmisión. La propulsión se logra, normalmente, mediante motores de corriente continua alimentados por baterías de plomo o de Ni-Cd.

En algunas aplicaciones los vehículos guiados automáticamente son portadores de dispositivos como palets, horquillas que facilitan la auto carga y descarga del vehículo. También pueden portar un brazo robot, aumentando de esta forma el campo de trabajo de este último y mejorando la flexibilidad del conjunto. No obstante, esta última solución presenta algunos problemas de cierta complejidad, por lo que está poco extendida en la práctica.

5 OPERACION

Sustituyendo la garra o pinza por una herramienta adecuada, un robot industrial puede llevar a cabo operaciones que de otra manera requerirían una realización manual o la utilización de una máquina especializada. Sobre esta última, el robot industrial aporta la componente de flexibilidad, que puede ser decisiva a la hora de seleccionar la forma de abordar la automatización de una operación.

En la industria de curtido son diversas las operaciones en las que la utilización de un robot industrial puede constituir una solución idónea para su automatización. Entre ellas hemos seleccionado, a título de ejemplo, dos:

Recorte de las pieles curtidas
Esmerilado de los cueros

5.1 Recorte de las pieles curtidas

El recorte de las pieles curtidas es una operación importante en la que se pretende eliminar las partes periféricas no útiles y conferir a la piel un contorno suavizado, apto para su utilización posterior.

La operación de recorte tiene dos fases claramente diferenciadas:

- **Determinación de la trayectoria de corte**
- **Realización del corte**

Para la **determinación de trayectoria de corte** se puede partir de la información suministrada por un sistema de visión similar a los comentados anteriormente. Aplicando un operador de detección de contornos a la imagen obtenida mediante una cámara en posición cenital, se obtendrá una línea que define el límite exterior de la piel. A continuación, se realizará un análisis de una banda interior de una anchura dada para determinar la existencia de zonas defectuosas que deben ser eliminadas.

Los defectos pueden ser orificios o rasgaduras, o bien alteraciones superficiales. La detección de los primeros se realizará mediante los métodos de segmentación anteriormente comentados, mientras que las alteraciones superficiales exigirán, en general, un análisis de texturas y la posterior clasificación de las mismas en aceptables o inaceptables.

Detectados y clasificados los defectos de la banda periférica interna, se ha de establecer un nuevo contorno que deje en su exterior los defectos inaceptables y no presente curvaturas superiores a una predeterminada. Este contorno será la trayectoria de corte de la piel que deberá realizar el robot.

Determinación de la trayectoria de corte: a) Imagen original, b) Contornos, c) Trayectoria de corte, d) Resultado del corte

Son diversos los procedimientos más o menos heurísticos que pueden utilizarse para determinar ese contorno; sin embargo, los métodos que parecen más prometedores son los basados en técnicas de **Morfología Matemática**, mediante la aplicación de operadores **dilatación y erosión** (Serra, 1982; 1988).

Para la **realización del corte**, el robot deberá disponer como elemento terminal de un dispositivo adecuado con el que seguirá la trayectoria previamente determinada. Las dos técnicas que parecen más adecuadas para el corte de las pieles acabadas son el **laser** y el **chorro de agua**.

Entre los tipos de laser existentes de una cierta potencia -- del orden de 200W -- para aplicaciones como la que nos ocupa, son dos los que presentan una buena relación coste/rendimiento: el laser de CO₂ (mezcla de dióxido de carbono con helio y neón) y el de Nd-Yag (Neodimio e Ytrio/aluminio/garnet), para funcionamiento con haz continuo o en régimen pulsante, respectivamente. El laser de CO₂ emite a 10,6 μ, en el infrarrojo lejano, con una eficiencia del orden del 20 %, mientras que el de Nd-Yag lo hace a 1,6 μ y su eficiencia es solo del 1 al 3%.

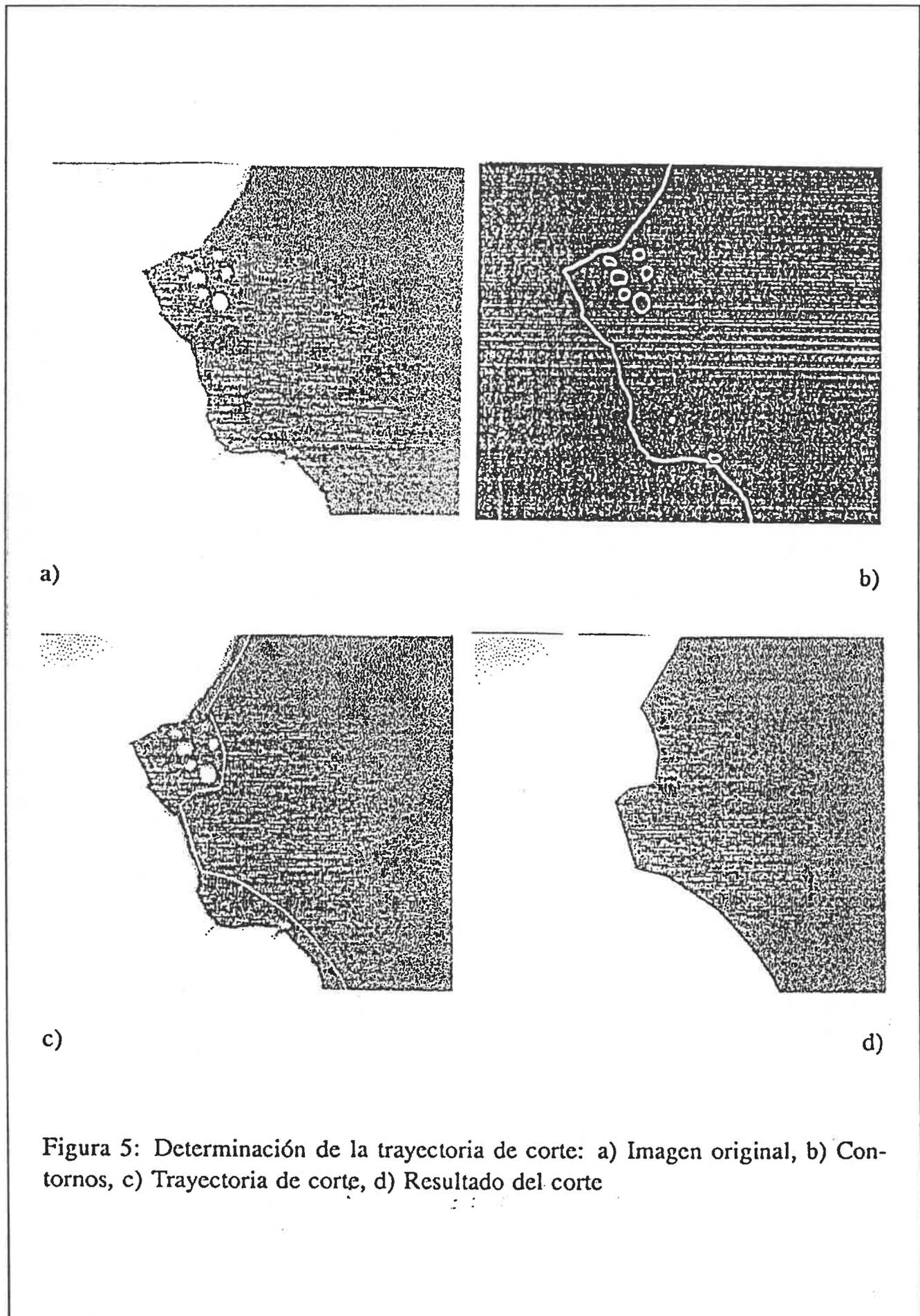


Figura 5: Determinación de la trayectoria de corte: a) Imagen original, b) Contornos, c) Trayectoria de corte, d) Resultado del corte

Las principales ventajas del laser como herramienta de corte de las pieles son las siguientes (Jener, 1990):

- Pequeña amplitud de corte (de 0,2 a 1 mm)
- Reducida zona de afectación térmica
- Corte plano y con ángulos prácticamente rectos
- Elevada velocidad de corte
- Ausencia de esfuerzos mecánicos y, por tanto de deformación
- Desgaste mínimo de la herramienta
- Corte en cualquier dirección, comenzando en cualquier punto

Como contrapartida importante, los sistemas de corte laser suponen costes elevados de adquisición y operación que hacen aún dudosa su utilización rentable para el tipo de aplicación que está siendo comentada. Otro posible inconveniente estriba en la necesidad de un entorno controlado, sin polvo ni vibraciones excesivas y temperatura regular. Igualmente, por la propia características del laser, deben adoptarse las medidas de seguridad adecuadas.

El corte por **chorro de agua** es una alternativa interesante a la utilización del laser previamente comentada. Básicamente, esta técnica consiste en lanzar un fino chorro de agua a presión elevada sobre el material siguiendo la trayectoria correspondiente al contorno de corte que se desea obtener (Seriola, 1987).

La presión de agua utilizada varía según la aplicación, pero puede ser superior a 4000 Kp/cm². El agua debe ser destilada o adecuadamente tratada, puesto que el orificio de la boquilla de salida de la misma es del orden de 1 a 1,5 décimas de milímetro y cualquier impureza podría obstruirlo. La temperatura del agua a la salida de la boquilla no supera los 21 °C.

Una instalación típica de corte por chorro de agua consta, además del robot y de su sistema de control, de una bomba que eleva la presión del agua previamente filtrada a unos 150 Kp/cm²; un intensificador que es capaz de aumentar dicha presión hasta los 4000 Kp/cm²; diversos conductos especiales que conducen el agua a presión y una boquilla de salida, que forma parte del elemento terminal del robot y que constituirá la herramienta de corte propiamente dicha.

Esta tecnología presenta importantes ventajas sobre otros sistemas:

- Permite alta velocidad de corte
- No produce calentamiento apreciable del material
- Utiliza tecnología convencional y conocida
- Bajo consumo de agua y energía
- Costes de adquisición y mantenimiento relativamente reducidos

Por otra parte, permite el corte de materiales tan diversos como vidrio, metacrilato, cartón, fibra de vidrio, espuma de poliuretano, textiles, etc. y parece una solución idónea para el corte de pieles.

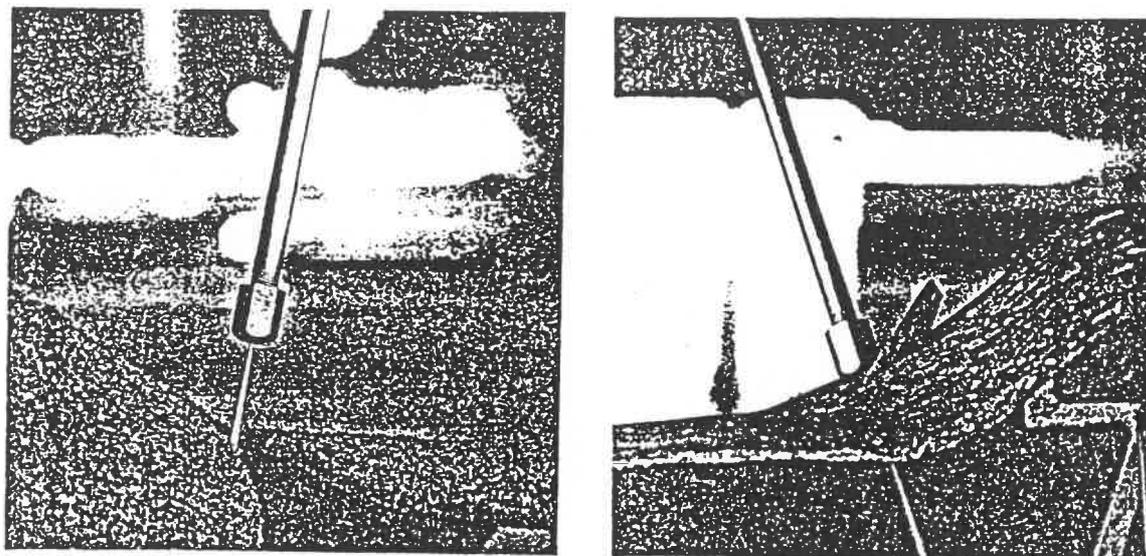


Figura 6: Corte por chorro de agua

5.2 Esmerilado de los cueros

Próximas ya al final de su tratamiento, las pieles son sometidas, según corresponda, a un proceso de corte de pelo a fin de igualar la longitud del mismo, y a un proceso de esmerilado tendente a homogeneizar el acabado final, especialmente en napas.

El proceso de corte de pelo se realiza actualmente de forma automática, no así el de esmerilado que aún es efectuado por operarios según su propio criterio basado en la experiencia y habilidad manual.

La metodología más viable consistiría en asegurar las pieles sobre una superficie ligeramente flexible y aplicar sobre ella el esmeril controlando la presión realizada. Esto puede realizarse mediante el uso de un robot que tenga como elemento terminal el esmeril y que esté provisto de un sensor de fuerza. Los sensores de fuerza más apropiado para esta aplicación son los colocados en la muñeca del robot, que permiten realizar una lectura de las fuerzas y pares de reacción a partir de la medición de sus tres componentes ortogonales. Los rangos de estos sensores pueden seleccionarse en función de la tarea a realizar, pudiendo alcanzar resoluciones típicas de 0.1 N para las fuerzas y 0.001 Nm para los pares.

La información del sensor de fuerza es procesada por el controlador del robot, o por un computador externo, para regular la fuerza a ejercer en la dirección normal a la superficie de la piel. El control que permite dar consignas de posición según unas ciertas direcciones y consignas de fuerza en otras (ortogonales a las primeras) se denomina **control híbrido**, y su mayor campo de aplicación es precisamente el desbarbado y esmerilado de piezas en manufactura industrial.

La presión sobre la piel durante el esmerilado es fácilmente modificable por programa y puede seleccionarse el valor más adecuado en función del tipo de piel. De este modo puede conseguirse una automatización de la tarea con garantía de no estropear el producto.

6 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La automatización de los procesos productivos es un hecho imparable en la actual evolución industrial hacia cotas cada vez más altas de calidad y productividad. Los procesos discontinuos se han incorporado más recientemente a esta tendencia general, pero los avances en la robótica y en los sistemas de percepción artificial están permitiendo su progresiva automatización.

La industria de curtidos pertenece a este último grupo de procesos pero presenta, además características específicas propias que dificultan la sustitución de los métodos manuales por los automáticos.

No obstante, a lo largo del proceso de fabricación de las pieles se detectan varias fases en las que la introducción de robots y sistemas de percepción puede permitir automatizar la inspección y clasificación de las pieles, la manipulación de las mismas y la realización de diversas operaciones.

La utilización generalizada de estos sistemas en la industria de curtidos exige, sin embargo, la resolución de una serie de problemas aún abiertos lo que conllevará un esfuerzo apreciable de investigación y desarrollo. En cualquier caso, tal como queda reflejado en los diferentes ámbitos de aplicación apuntados a lo largo de la presente ponencia, el futuro se presenta prometedor y lleno de posibilidades.