



La visión artificial en el control de calidad

Desarrollo de un escáner láser tridimensional rotativo

MACHINE VISION IN QUALITY CONTROL. Development of a 3D robotized laser-scanner

Artzai Picón-Ruiz
M^a Aránzazu Bereciartua-Pérez
José Ángel Gutiérrez-Olabarria
José Pérez-Larrazabal

Doctor Ingeniero Industrial
Lda. Físicas, Ingeniera en Electrónica
Ingeniero Superior Informático
Lda. Físicas, Ingeniero en Electrónica

(ROBOTIKER-TECNALIA)
(ROBOTIKER-TECNALIA)
(ROBOTIKER-TECNALIA)
(ROBOTIKER-TECNALIA)

Recibido: 15/10/09 • Aceptado: 15/10/09

ABSTRACT

- Quality control of manufactured products is more and more demanding everyday. Machine vision devices are becoming one of the most efficient technologies for a reliable, flexible and fast control of different types of products. In this work, we present the design and the implementation of a novel 3D rotative scanner as well as its implementation in a production line through a robotic cell, allowing cent per cent product online inspection without increasing the production cycle time.
- **Key words:** Machine Vision, Quality Control, Robotics, 3D Scanning.

RESUMEN

El control de calidad de productos manufacturados es un proceso al que se le demandan hoy en día unas prestaciones muy elevadas. En este contexto, la visión artificial se está convirtiendo en una de las tecnologías más precisas y eficientes de cara a obtener un aseguramiento de la calidad fiable, robusto y rápido de distintos tipos de productos. En este trabajo de investigación, presentamos el diseño y la implementación de un nuevo escáner tridimensional rotativo, así como su integración en producción mediante una célula robotizada, permitiendo la inspección online del 100% de la producción sin incrementar el tiempo de ciclo.

Palabras clave: Visión artificial, control de calidad, robótica, escáner tridimensional.

1. INTRODUCCIÓN

La exigencia sobre los procesos de control de calidad de los productos está creciendo exponencialmente en los últimos tiempos. Concretamente, casi todos los

sectores industriales utilizan sistemas de control de calidad para asegurar los requisitos de calidad del producto fabricado, exigidos por el cliente final. En un mercado altamente competitivo y dentro de la situación de crisis actual, los sistemas de control de calidad eficientes permiten a las empresas posicionarse frente a su competencia, consiguiendo una mejor calidad de sus productos que no repercute en el coste de fabricación de los mismos.

El objetivo de este artículo es, aplicando la visión artificial, presentar el diseño de un escáner rotativo de triangulación 3D (solicitud de patente: ES-P200600068) para el control dimensional de casquillos de tubo (trozos cortados y mecanizados) y otros elementos de revolución para el sector de la automoción. Cada elemento fabricado debe cumplir los requerimientos establecidos por el cliente relativos al diámetro, grosor, ángulos y tamaño de bisel, excentricidad, etc.

Como resumen, en este trabajo se presenta el desarrollo de un novedoso escáner tridimensional rotativo que permite obtener los parámetros geométricos de elementos de revolución. Este escáner permite obtener la geometría

VISIÓN ARTIFICIAL Y CONTROL DE CALIDAD

Se puede definir la visión artificial como "procesamiento automático o asistido por el hombre de información captada por medios visuales". Estos medios visuales implican una tecnología multidisciplinar: iluminación, óptica, cámaras y procesamiento deben ser integrados para conseguir estos objetivos.

La visión artificial se está convirtiendo en una de las tecnologías más eficientes y flexibles para realizar el control de calidad de tipos de productos muy distintos. Atrás quedan los tiempos en los que los sistemas de visión artificial se limitaban al control dimensional de piezas de geometría sencilla. El avance de la visión artificial y de las disciplinas científicas asociadas, permite hoy en día una caracterización de defectos basada en sistemas de aprendizaje inteligentes, adaptabilidad automática con base en ejemplos, complejas mediciones tridimensionales e, incluso, la detección de defectos invisibles al ojo humano (técnicas hiperspectrales).

Las técnicas clásicas de visión bidimensional resultan incapaces de extraer la información tridimensional [7]. Sin embargo, la utilización de técnicas basadas en triangulación 3D o estereovisión pueden resolver estos problemas.

Por desgracia, los escáneres clásicos basados en detección láser lineal no están preparados para una extracción adecuada en elementos de revolución, dado que cualquier algoritmo de extracción de características diseñado debería adaptarse a las diferentes zonas de inspección existiendo además zonas de sombra que no podrían ser inspeccionadas.

Breve historia en hitos de la Visión Artificial

Finales de los 40 y primeros 50. Aplicaciones militares de análisis de imagen usando inteligencia artificial.

Finales de los 60 y primeros 70. El MIT desarrolla el primer sistema real de procesamiento de imagen en entorno industrial con el proyecto "Block Micro World" de control de un brazo robot.

Años 80: Avance en algoritmos normalmente imagen en niveles de gris. Aparición de tarjetas procesadoras y cámaras para aplicaciones industriales. Aplicación habitual de visión artificial en el sector de fabricantes y montadores de chips y semiconductores.

Años 90: Uso intensivo de visión artificial en la industria. Aparición de cámaras inteligentes (con capacidad de proceso) y sistemas compactos. Empleo generalizado de PCs y Windows en el procesamiento

Años 2000 en adelante: Aplicación en todos los ámbitos de la industria. Aplicaciones en gran número de sectores: seguridad, autoguiado, etc.

tridimensional de los casquillos, evitando problemas anteriores y ofreciendo una precisión de 0.01mm.

Concretamente, para llegar a conseguirlo, se han precisado recorrer los siguientes pasos.

Desarrollo del sistema:

- Diseño del dispositivo mecánico para el movimiento rotativo del subsistema de triangulación compuesto por el láser y la cámara.
- Determinación de los algoritmos de calibración y medida que permitan asociar cualquier punto observado por la cámara en una posición 3D.
- Definición de los algoritmos de extracción de características y creación del modelo matemático 3D que define el casquillo.

Integración del sistema:

- Integración del sistema en la línea de producción de una planta de Tubos Reunidos, S.A. en forma de una célula robotizada, que permita la inspección del 100% de la producción sin incrementar el tiempo de ciclo.

2. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO.

Los productos a controlar son familias de casquillos de tubo fabricadas, una vez que son cortados y sus cantos biselados (figura 8) en frío a partir de un tubo hueco de acero por las máquinas de corte. Las dimensiones de los mismos presentan diámetros externos comprendidos entre 31 y 76,30 mm., diámetros internos entre 24 y 64,30 mm. y longitudes comprendidas entre 182 y 504 mm. Tanto los diámetros del casquillo, excentricidad, redondez, así como el tamaño del bisel son críticos y los requisitos dimensionales exigidos a los mismos son del orden de ± 0.1 mm. Esta exigencia a controlar hizo necesario el diseño y la creación de este sistema tridimensional de medición en tiempo real presentado en este trabajo, que permitiera el análisis del 100% de la producción.

Mediante una célula robotizada, el sistema ha sido integrado tanto con las máquinas de corte que realizan las tareas de mecanizado de los casquillos como con el proceso de paletizado subsiguiente realizando un control de calidad del 100% de los productos sin ralentizar el tiempo de ciclo.

Anteriormente se realizaba un control de calidad estadístico, en el que se tomaban muestras de piezas y un operario realizaba medidas con calibres especiales sobre ellas. Este control no garantiza la calidad del 100% de la producción y obliga a realizar este trabajo a un operario, con sus costes y subjetividad en las medidas

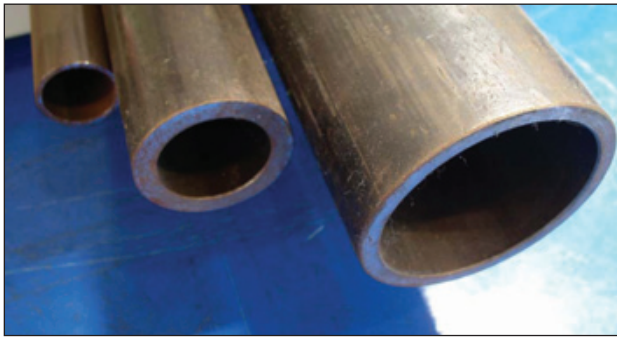


Fig. 1 Ejemplo de diferentes casquillos con su bisel

2.2 PROBLEMÁTICA DE ESCANEADO Y CONTROL DIMENSIONAL AUTOMÁTICO DE ELEMENTOS DE REVOLUCIÓN.

Los métodos convencionales de visión artificial no resultan apropiados para obtener las medidas de las diferentes zonas del bisel, debidas a sus características tridimensionales [8]. Esto hace necesario el empleo de técnicas de triangulación óptica láser.

En la actualidad existen numerosos escáneres lineales. De hecho, ROBOTIKER-TECNALIA desarrolló a principios de los noventa un escáner tridimensional lineal para escaneado de moldes dentales [4]. Sin embargo, estos métodos no resultan adecuados para la extracción de medidas en elementos de revolución. Observando la figura 2, se aprecia que un escáner lineal produciría perfiles diferentes según en la posición del casquillo en que nos encontremos haciendo más compleja aún la tarea de elaborar algoritmos automáticos, que permitan la medición de los casquillos.

Teniendo en cuenta estas limitaciones de los escáneres lineales, se ha desarrollado un novedoso sistema escáner

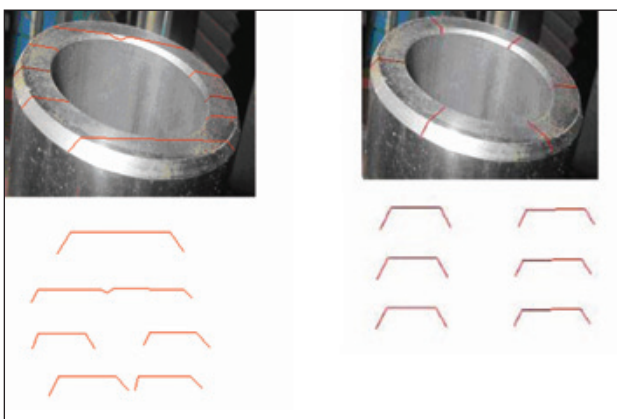


Fig.2.

a) Perfiles extraídos por medio de un escáner lineal.
Se aprecia que las características del perfil obtenido cambian a lo largo del escaneo

b) Perfiles extraídos mediante un escáner rotativo.
Los perfiles se mantienen constantes

3D rotativo. Con esta arquitectura, el sistema lleva a cabo un giro de más de 180°, captando un perfil de medida en cada grado. Gracias a la precisa comunicación

implementada entre el robot manipulador y el módulo de control de visión artificial se puede adquirir un gran volumen de datos de todo el contorno del casquillo, permitiendo unos resultados muy fiables.



Fig. 2b. El patrón de calibración denominado "SUPO"

Permite identificar puntos claros y convenientemente medidos para establecer correspondencias entre espacio real y espacio percibido

El desarrollo de la adquisición de datos, la conversión de estos datos en medidas reales y el algoritmo de proceso de datos resultaron ser una tarea compleja: hay que tener en cuenta la dificultad de calibración del sistema (conversión entre los datos obtenidos de la imagen y las medidas del mundo real) producida por las no linealidades reales del eje de giro, del plano láser, etc. Para superar estas dificultades se creó un modelo matemático que incluía el eje de rotación, el plano láser y las posiciones relativas de la cámara y dicho plano. Se emplearon asimismo nuevas técnicas de búsqueda heurística basadas en algoritmos genéticos y se diseñó y fabricó un patrón de calibración específico que permitió el cálculo de los parámetros reales de la transformación.

Este modelo permitió la conversión de cualquier punto detectado por la cámara empleando los parámetros de calibración y el ángulo de rotación actual. En los apartados siguientes, se ofrece una descripción detallada de las características técnicas del sistema.

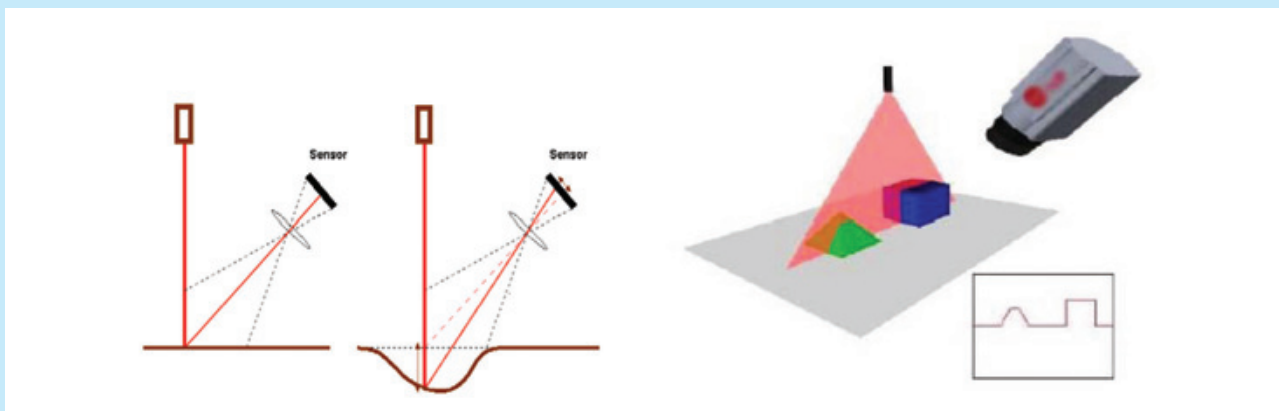
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

A continuación, se presenta una descripción resumida del funcionamiento automatizado. En cada ciclo de trabajo, el robot coge tres casquillos desde el puesto de salida de la máquina cortadora y los posiciona en un punto determinado del campo de visión de la cámara. El sistema de inspección y el robot están sincronizados de manera que tras el posicionamiento de los casquillos, el accionamiento del

TRIANGULACIÓN ÓPTICA LÁSER

La triangulación óptica láser es un método de obtención de medidas del espacio que se fundamenta en la variación de proyección, sobre un sensor convenientemente ubicado, de una fuente de luz, normalmente un láser iluminando un objeto, y calculadas en función de la distancia entre la fuente de luz y el objeto.

En las imágenes puede verse el fenómeno tanto en el caso de que la fuente de luz sea puntual como en el caso de una línea. La imagen obtenida en el sensor se "desplaza" y deforma en función de las características tridimensionales del objeto. Las técnicas de reconstrucción tridimensional basadas en láser establecen una relación entre la distancia real y la imagen observada.



sistema gira y se procede a la captura y procesamiento de los biseles de los casquillos en sus dos caras.

Una vez que se logra la reconstrucción tridimensional del casquillo, así como la obtención de los parámetros objetivo y datos estadísticos, cada casquillo se clasifica dependiendo de los resultados de la inspección. El sistema

indica al robot el resultado final del ensayo y cada casquillo se deposita en el sistema transportador correspondiente. Esta operativa se repite cíclicamente.

Se presenta en la figura 3, un esquema de la planta industrial en la que se ha implantado el sistema, cuyos elementos significativos son:

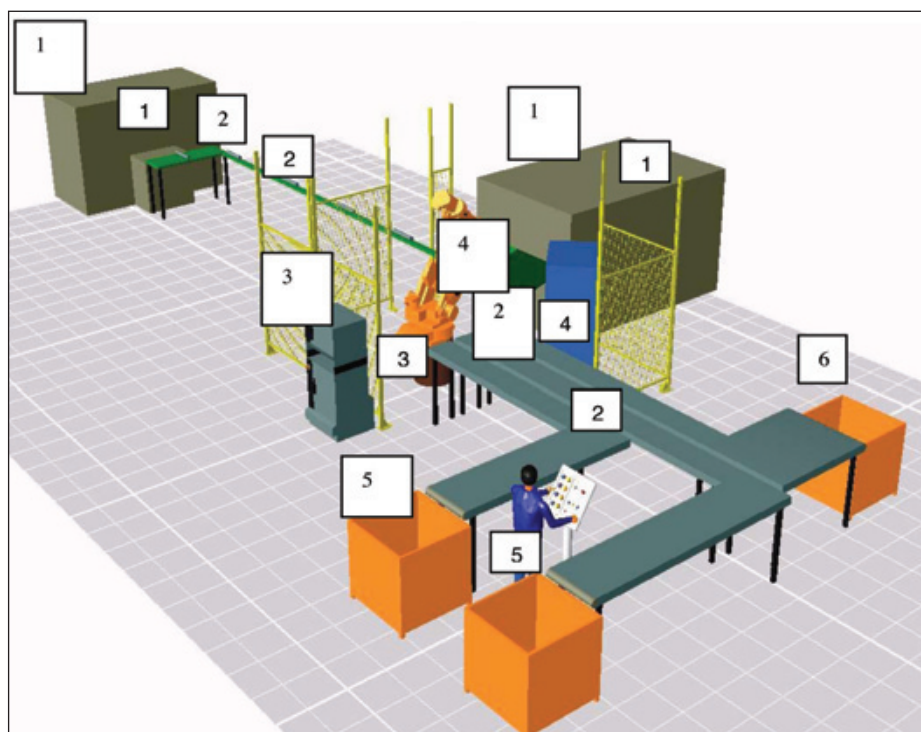


Fig. 3. Esquema de la planta industrial

- Máquinas cortadoras de casquillos (1) dos modelos distintos
- Transportadores para casquillos (2) que se sitúan:
De las máquinas de corte al puesto de cogida del robot
De la célula robotizada al puesto de paletizado
- Salida para casquillos defectuosos (6)
- Casquillos correctos provenientes de la máquina de corte n^o1 (5)
- Casquillos correctos provenientes de la máquina de corte n^o2 (5)
- Sistema robot (3)
- Sistema de inspección 3D (4)
- Puesto de control y paletizado manual (2)

Dada su relevancia tecnológica, el objeto del presente trabajo se limita a la descripción de los siguientes elementos:

- Sistema mecánico rotatorio.
- Escáner-láser 3D.
- Célula robotizada.

3.1. SISTEMA MECÁNICO ROTATORIO (HARDWARE).

El dispositivo mecánico rotatorio es una de las partes más precisas y complejas del sistema de escaneado y es descrito como una parte fundamental de la solicitud de patente. Este dispositivo consiste en los siguientes componentes principales (ver figura 4):

- Sistema de iluminación (1): Dos láseres marca LASIRIS de longitud de onda 685 nm. Estos láseres generan un único plano de luz que evita sombras y zonas oscuras en el campo de vista de la cámara.
- Dispositivo sensor (2): Una cámara de alta resolución M40 de SICK-IVP con un tamaño en píxeles de sensor de 512 x 1536 pix y ópticas montura C de 1 pulgada.
- Eje de revolución especial sin holguras (3): Esta es una pieza clave del sistema. Las partes mecánicas no deben introducir imprecisiones en los cálculos posteriores y deben ser suficientemente preciso para permitir un procesamiento óptimo de imagen.
- Motor y encoder (4). Para un procesamiento preciso es imprescindible conocer la posición exacta del sistema

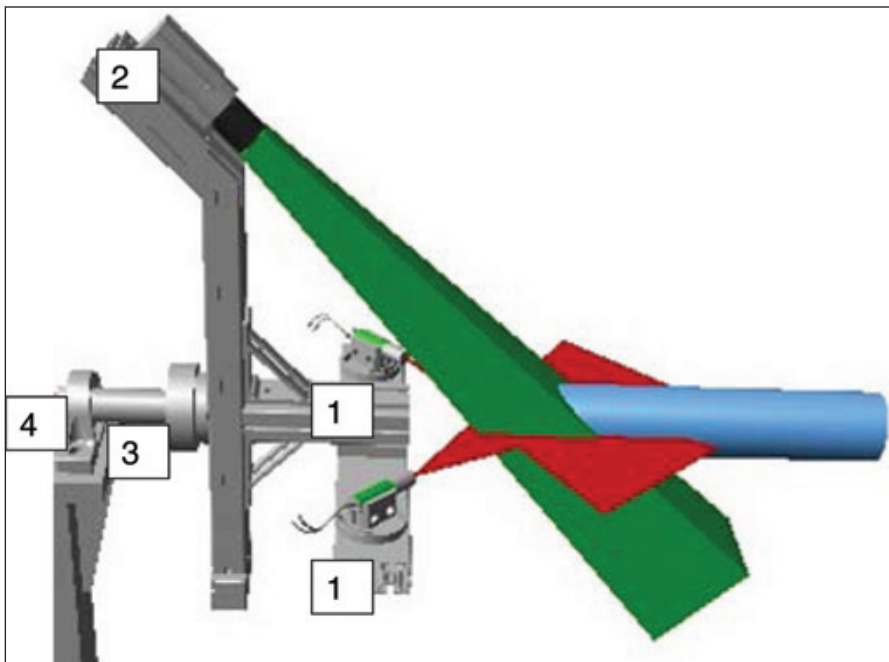


Fig. 4. Modelo del sistema mecánico.

En rojo se aprecian los planos láser y en verde el campo de vista de la cámara

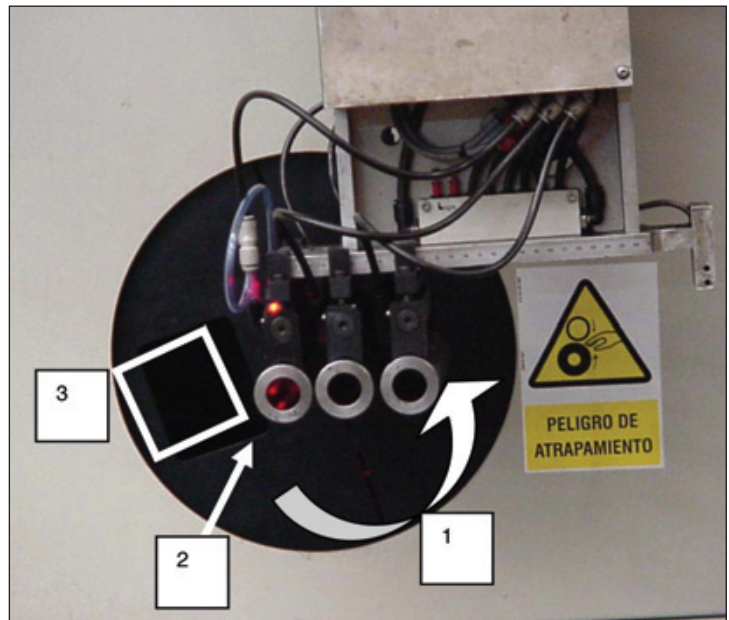


Fig. 5. Casquillos en el punto de inspección.

Se aprecia la herramienta de agarre del robot que recoge los casquillos y los sitúa en la zona de inspección. Una vez situados en la zona de inspección, el sistema realiza el barrido rotatorio que permite el escaneado tridimensional de los tubos.

de rotación. El motor rota algo más de 180° y la cámara puede capturar perfiles cada 1,3°. El perfil así obtenido representa aproximadamente una cuerda del casquillo (más exactamente un pseudo-diámetro) y se toman 128 perfiles para reconstruir el casquillo. Una reconstrucción precisa implica un control de posicionamiento preciso.

El sistema necesita un ajuste preciso de la posición geométrica del láser y la cámara. Las dos fuentes láser deben formar un único plano y la zona de mayor precisión del campo de vista de la cámara debe centrarse en ese plano para optimizar la captura de datos

Cuando el robot sitúa su garra en la distancia de trabajo, el sistema final de la solución industrial instalada presenta el aspecto de la figura 5. El sistema dispone de una tapa circular (1) para garantizar la seguridad en el funcionamiento manual. Esta tapa dispone de ranuras (3) por las que el sensor capta la imagen y los haces láser pueden iluminar la pieza. El haz láser puede apreciarse en el interior de la pieza en (2).

3.2. ALGORITMO DEL ESCANEADO LÁSER TRIDIMENSIONAL Y EXTRACCIÓN DEL MODELO DE CASQUILLO.

Mediante la rotación, el sistema realiza un barrido láser y extrae, de forma automática, el modelo tridimensional del casquillo que va a permitir la detección de desviaciones en los mismos. Para ello, el escáner efectúa ese barrido extrayendo, para cada ángulo de giro, el perfil del casquillo asociado a dicho ángulo (figura 6). Cada uno de los perfiles

es procesado de forma automática y se obtienen los puntos característicos que definen cada perfil (puntos exteriores, interiores, y puntos de intersección del bisel con la cara anterior del casquillo). Es destacar la complejidad existente para la extracción de estos parámetros debidas a sombras del láser, reflejos, posicionamiento del casquillo, lo que hace que el desarrollo de este algoritmo haya requerido la utilización de técnicas de filtrado e interpolación avanzadas [5].

Una vez conocida la posición (píxeles) de cada uno de los puntos característicos en cada perfil, cada uno de estos

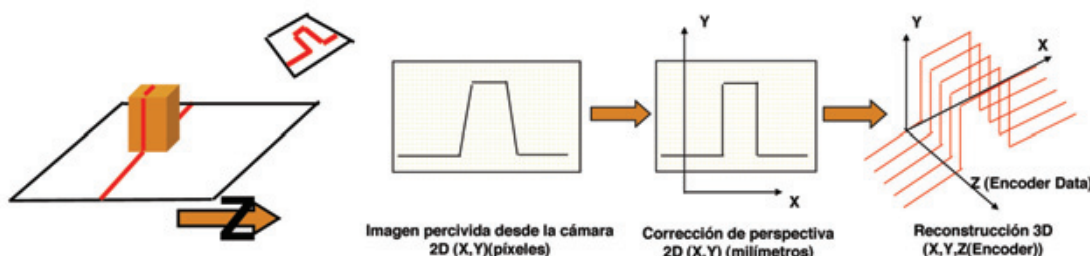
MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO PARA LA TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

La mayor novedad propuesta en este proyecto radica en la posibilidad de calcular las coordenadas tridimensionales del objeto a medir a partir del giro del sistema solidario constituido por el escáner y la cámara (ver figura 4). Como se expone en el texto, no es una tarea sencilla: en primer lugar, porque las lentes de la cámara tienen una distorsión que hace que no exista una relación lineal entre la posición medida en píxeles y sus medidas reales, y en segundo porque para realizar la reconstrucción tridimensional del objeto debemos conocer, para cada ángulo de giro, la posición exacta del plano láser.

El problema, por lo tanto, se puede dividir en dos:

- Corregir la distorsión de la cámara:

Para ello, se emplea un elemento de calibración, de geometría conocida (fig. 2b). De esta forma se puede asociar a cada conjunto de puntos conocidos observados desde la cámara, unas coordenadas reales y ajustarla a funciones de segundo orden:



Una vez calibrada esta función mediante la técnica de los mínimos cuadrados, se obtiene un modelo de la relación entre los puntos observados por la cámara y las coordenadas reales.

$$X_{mm} = a_1 \cdot X_{px} \cdot X_{px} + a_2 \cdot Y_{px} \cdot Y_{px} + a_3 \cdot X_{px} \cdot Y_{px} + a_4 \cdot X_{px} + a_5 \cdot Y_{px} + a_6$$

$$Y_{mm} = b_1 \cdot X_{px} \cdot Y_{px} + b_2 \cdot Y_{px} \cdot Y_{px} + b_3 \cdot X_{px} \cdot Y_{px} + b_4 \cdot X_{px} + b_5 \cdot Y_{px} + b_6$$

- Extracción de las coordenadas 3D:

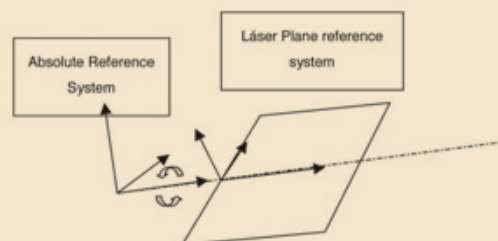
El segundo problema que nos ocupa es cómo transferir las coordenadas del sistema de referencia del sistema plano láser-cámara, que se encuentra rotando, con las coordenadas reales absolutas que necesitamos para reconstruir el casquillo.

Si el plano láser coincidiera con el eje de giro del sistema, estas coordenadas se obtendrían de manera sencilla:

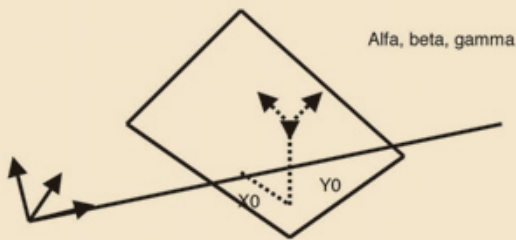
$$X_{Absoluta} = X_{laser} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot n / N)$$

$$Y_{Absoluta} = Y_{laser} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n / N)$$

$$Z_{Absoluta} = Z_{laser}$$



Sin embargo, esto no ocurre así, y las ecuaciones que rigen cambio de coordenadas deben tener en cuenta la relación entre el plano láser y el eje de giro del sistema en base a ciertos parámetros. En la figura siguiente se aprecian los parámetros que se han tenido en cuenta para esta relación (desplazamientos y vector normal del plano láser con el eje de giro).

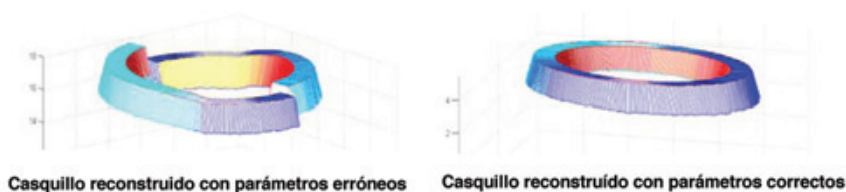


$$\text{AbsoluteCoordinates} = f(\text{LaserPlaneCoordinates}, \text{EncoderRotation}, X_0, Y_0, \alpha, \beta, \gamma)$$

$$\begin{bmatrix} X_{abs} \\ Y_{abs} \\ Z_{abs} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\text{EncoderRotation}) & -\sin(\text{EncoderRotation}) & 0 & 0 \\ -\sin(\text{EncoderRotation}) & \cos(\text{EncoderRotation}) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot [\text{Matrizparámetros}] \cdot \begin{bmatrix} X_{laser} \\ Y_{laser} \\ Z_{laser} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$[\text{Matrizparámetros}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 & 0 \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

en el hecho empírico de que un casquillo reconstruido con el modelo incorrecto no presenta forma de casquillo, las normales de los dos semicasquillos reconstruidos son diferentes, como también lo son sus radios y posiciones de los extremos. Por el contrario, los casquillos reconstruidos con los parámetros correctos tendrán unas características geométricas adecuadas.



parámetros del modelo hasta conseguir la convergencia en los parámetros correctos.

Resumiendo, el modelo del giro del plano láser depende de cinco parámetros (X_0, Y_0 , alfa, beta, gamma) que determinan la posición relativa real entre el plano láser y el eje de giro. Es importante comentar que el cálculo de estos parámetros resulta complejo mediante métodos tradicionales (realizando mediciones mecánicas), por lo que se propone un método de cálculo de estos parámetros basado en técnicas de optimización a partir de una función de coste.

Esta técnica se basa

Tomando esto como base, se diseñó una función de coste que disminuía cuando la geometría del casquillo era la esperada, y se aplicó un algoritmo genético que iba "tanteando" los valores posibles de los

puntos es transformado en coordenadas reales tridimensionales. Esto se hace utilizando una matriz de transformación que tiene en cuenta la posición en píxeles y el ángulo de rotación del láser de cada punto, proyectándolo en un sistema de referencia tridimensional mediante unos

parámetros calibrados previamente que tienen en cuenta la distorsión de la cámara, la posición relativa entre el plano láser y la cámara, así como la relación entre el plano láser y el eje real de giro del sistema. [6].

Una vez transformadas las coordenadas al sistema de

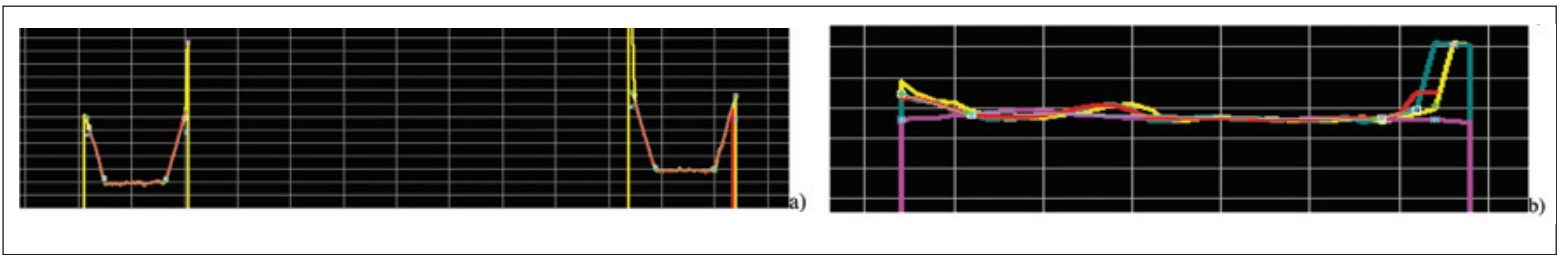


Fig. 6. Extracción de puntos de interés de un perfil de casquillo

a) Extracción de características en un casquillo con bisel de tamaño elevado

b) Extracción de características en un casquillo de bisel de pequeñas dimensiones (se visualiza sólo la parte izquierda del tubo). En esta imagen se puede apreciar la complejidad de la extracción de la posición exacta de los límites de bisel para un algoritmo automático de visión artificial.

referencia tridimensional se obtiene un modelo de casquillo biselado 3D (figura 7) consistente en cuatro elipses que representan el radio externo e interno del casquillo y la intersección de los biseles con la cara anterior del mismo.

intersecadas por un conjunto de planos perpendiculares al plano que define la cara anterior del casquillo. Sobre cada uno de estos planos de corte, se obtienen las siguientes medidas:

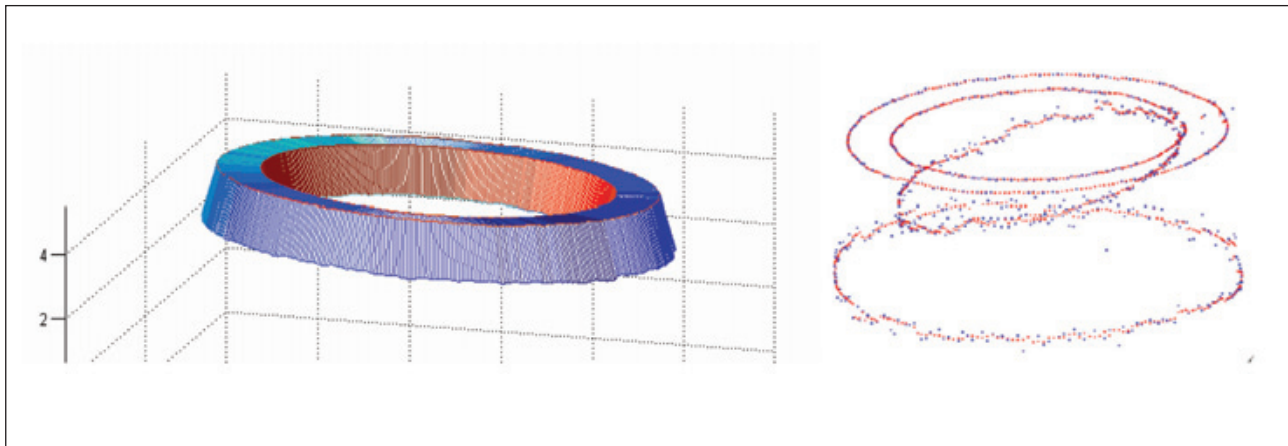


Fig. 7. Modelo de casquillo tridimensional reconstruido a partir de los perfiles extraídos.

Las medidas requeridas por los usuarios finales se obtienen mediante el análisis matemático de las cuatro elipses extraídas de cada casquillo. Estas elipses son

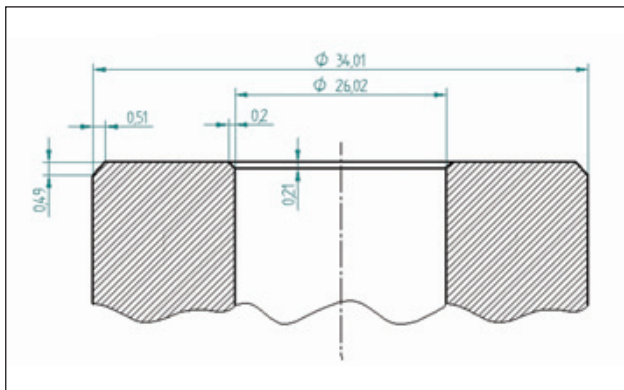


Fig 8. Ejemplo de casquillo acotado.

Las tolerancias varían en función de los modelos

- Radio exterior (máximo, medio, mínimo).
- Radio interior (máximo, medio, mínimo).
- Bisel externo, anchura, altura y ángulo (máximos, medios, mínimos)
- Bisel interno, anchura, altura y ángulo (máximos, medios, mínimos)
- Excentricidad
- Concentricidad
- Redondez.

Como resultado del desarrollo de estas herramientas modulares (adquisición de perfiles, sistema motor, procesamiento de datos, reconstrucción de imagen 3D, análisis de la imagen, sistema IOs, comunicación con el robot...) se ha creado una aplicación integrada que permite mediante una interfaz amigable, el control de todo el proceso de control de calidad y el archivado de la información estadística del proceso. Sería complejo explicar en este espacio las funcionalidades de la

aplicación. En la figura 9 se observa el aspecto de la interfaz de inspección de ciclo desarrollada.

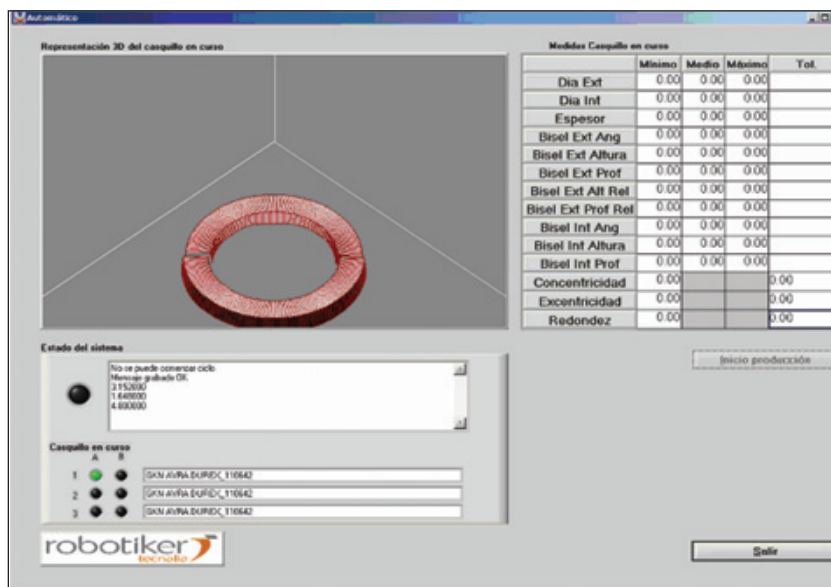


Fig. 9. Interfaz de usuario del software desarrollado

3.3. INTEGRACIÓN EN CÉLULA ROBÓTICA.

Además de los desarrollos innovadores expuestos, se ha llevado a cabo una implantación real del sistema en entorno industrial. Dicha implantación industrial abordó las fases de simulación, diseño, desarrollo y puesta a punto.

La fase de simulación (ver figura 10) cobró especial relevancia dado que permitió a la empresa usuaria final del sistema validar virtualmente este novedoso proceso de inspección que iba a introducir mejoras y cambios significativos respecto de los procesos de fabricación tradicionales en este tipo de plantas.



Fig. 10. Imagen de la simulación realizada.

En la fase de diseño se determinó toda la logística que acompañaría a los nuevos utillajes que permitirían manipular de manera automatizada cualquier longitud y diámetro de casquillo dentro del rango de fabricación de la empresa cliente. En este sentido se fabricó la gama de utillajes que se visualiza en la imagen siguiente para la manipulación robotizada.

Las características específicas que justifican la utilización de un robot como el considerado son las siguientes:

- El robot reconfigura todas sus posiciones para trabajar de manera automática con cualquier dimensión de casquillos.
- Total flexibilidad para adaptarse a las diferentes posibilidades de combinaciones de casquillos que se desean inspeccionar.
- Los parámetros geométricos de los casquillos son enviados al control de planta por el sistema de visión mediante puerto serie (RS232).
- Interfaz amigable con el operador
- Cambio rápido de utillaje (ver figura 11).

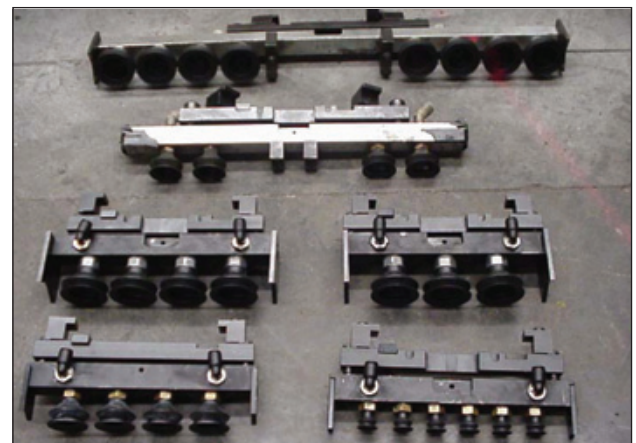


Fig. 11. Útiles (garras) para el robot

- Inspección del 100% de la producción.
- Posibilidad de reprogramar y ampliar las tareas de robot.
- Posibilidad de reconfigurar la instalación y modificar la posición de elementos (puestos, máquinas) de manera rápida y sin modificar la operativa.
- Posicionamiento altamente preciso del punto de trabajo en base a la programación del robot y la comunicación con el sistema de inspección.

En cuanto a conceptos de productividad y competitividad, el robot manipula 3 casquillos en cada ciclo de trabajo en un tiempo aproximado de seis segundos. Este valor permite considerar este proceso como un proceso en línea dentro de la cadena productiva de la empresa usuaria sin que el tiempo de ciclo reduzca la productividad final

4.CONCLUSIONES

Como conclusiones de este trabajo se pueden destacar, entre otras cosas:

La posibilidad de diseñar e implementar un escáner tridimensional rotativo que permitiese el escaneado y análisis metrológico en tiempo real de los productos tubulares con una precisión proporcionada por el sistema de 0,01mm, que permite garantizar las tolerancias de 0,1 mm solicitadas.

La realización propuesta de una nueva aproximación a la triangulación 3D (número de solicitud de patente ES-P200600068), mediante el desarrollo de un escáner rotativo que resuelve las limitaciones de los escáneres lineales para geometrías de revolución.

El desarrollo de una aplicación robotizada, integrada totalmente en el entorno productivo, siendo además capaz de disponer de elementos de alta precisión como cámaras 3D y láseres en dicho entorno.

El diseño de un nuevo método de calibración que tiene en cuenta y minimiza los efectos causados por las inevitables no linealidades mecánicas entre el eje rotación y el plano láser.

En cuanto al desarrollo de la célula robotizada (ver figura 12), las ventajas son claras:

El robot es capaz de interactuar con el resto del proceso productivo.

TUBOS REUNIDOS, S.A. es un grupo de empresas que, desde 1892, tiene su principal área de negocio en la fabricación de tubos sin soldadura laminados en caliente o estirados en frío. De ellos procede una amplia gama de productos para sectores como petrolífero, automoción, energía, mecánica, construcción, etc.

ROBOTIKER-TECNALIA, es un Centro Tecnológico especializado en Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) y en Desarrollo de Producto, orientado a las telecomunicaciones, automoción, energía, salud y calidad de vida y sistemas de innovación.

Manipula cualquier tipo de diámetro y longitud de casquillo y la garra permite el manejo de 3 casquillos en cada ciclo de inspección (opcionalmente hasta 6).

Sitúa ambas caras de cada casquillo en la zona de inspección para su verificación.

Tras el análisis automático, el robot clasifica cada casquillo dependiendo del resultado y del origen de la máquina de corte.

Como conclusión general cabría destacar que el control dimensional realizado es más fiable y repetitivo respecto al control dimensional manual, en cuanto permite un control de calidad mucho más exhaustivo a través del cual se pueden detectar desviaciones leves en el proceso productivo y corregirlas inmediatamente; de esta forma, se disminuyen los costes de producción y se incrementa el valor añadido del producto fabricado.

Esta tecnología puede emplearse en el control de calidad de piezas de revolución y podría adaptarse a otro tipo de aplicaciones o sectores. ROBOTIKER-TECNALIA estudiaría estas necesidades y plantearía las posibles soluciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nikolaidis N Pitas I, 3-D Image Processing Algorithms, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 2000 ISBN-13: 9780471377368.
- [2] Ahlers R.J. Braggins, D.W. and Kamerman G.W., Automated 3d And 2d Vision, Frankfurt/Main, Germany, June 21-24, 1994, Proceedings of SPIE 2204.
- [3] Triangulation principles, informe técnico, Sick IVP AB, 2005.
- [4] Sistema de escáner dental tridimensional, Oficina española de patentes y marcas N^o de publicación 2116927 01 Mar 99 N^o solicitud 9601994 20 Sept 98 Titulo: Escaner tridimensional, Aplicación: Escaneo de moldes dentales.
- [5] Marquardt, D. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters, SIAM J. Appl. Math. 11, 431-441, 1963.
- [6] Picon A. et Al. 3D High Precision Tube Bevel Measurement using laser based Rotating Scanner. Emerging Technologies and Factory Automation, 2006. ETFA apos;06. IEEE Conference on Volume , Issue , 20-22 Sept. 2006 Page(s):1190 – 1197.
- [7] Sinnreich, K. Boesemann, W., Optical 3D tube measurement system for quality control in industry Proc. SPIE Vol. 2249, p. 192-199, Automated 3D and 2D Vision, 1994.
- [8] Dudziak, R.; Schitteck, M, Quality control of steel tubes with Machine Vision, 7th International Workshop on Research and Education in Mechatronics REM 2006.