

Sistema basado en visión para inspección del tipo ausencia/presencia de subensambles automotrices

Alejandro **González-Álvarez**¹

Agustín **Ramírez-Agundis**¹

José Alfredo **Padilla-Medina**¹

Ricardo **Morales-Coronilla**²

¹Instituto Tecnológico de Celaya.
Av. Tecnológico y A. García Cubas s/n,
CP 38010, Celaya, Guanajuato.
MÉXICO.

²Pintura, Estampado y Montaje, SA.
Carretera Celaya-Salamanca km 5,
CP 38020, Celaya, Guanajuato.
MÉXICO.

Tels. ¹01(461) 611 7575 ext. 5163
²01(461) 618 5241 ext. 5241

correo electrónico (email): m1003074@itcelaya.edu.mx
agustin.ramirez@itcelaya.edu.mx
alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx
ricardo.morales@autometal.mx

Recibido 02-08-2012, aceptado 14-12-2012.

Resumen

En el presente artículo se describe el desarrollo de un sistema de visión artificial para la inspección del tipo ausencia/presencia de elementos específicos en un subensamble automotriz estructural. Los elementos que se deben identificar son orificios, roscas y puntos de soldadura. El sistema de visión está basado en la perfilometría láser. El sistema consta de varias funciones desarrolladas en Matlab, siendo éstas para la calibración del sistema óptico, la captura y reconstrucción de imágenes, la binarización de imágenes, así como la identificación y conteo de elementos. Las técnicas utilizadas para el desarrollo del sistema de visión son la binarización, la dilatación y la erosión, para mejorar algunas características de las imágenes, y la correlación entre imágenes para determinar la similitud entre las imágenes

patrón y las imágenes de la pieza a inspeccionar. La experimentación produjo como resultado un nivel de eficiencia del 92% y una repetibilidad del 94%. Asimismo, la experimentación demostró que el desempeño del sistema de visión es independiente de la iluminación ambiental, siendo este aspecto relevante en tanto que la aplicación del sistema en una celda de producción industrial trae consigo este requerimiento.

Palabras clave: sistema de visión, perfilometría láser, inspección, procesamiento de imágenes.

Abstract (Vision Based System for Presence-Absence Inspection of Automotive Subassemblies)

This paper describes the development of an artificial vision system to be used for automated absence/presence inspection of specific elements in a structural automotive subassembly. The elements that must be identified are holes, threads and welds points. The developed vision system is based on laser profilometry. The system has several functions implemented in Matlab. These functions are used for calibration of the optical system, image capture and reconstruction, as well as identification and counting of elements. The image processing techniques used for the development of the vision system are binarization, dilation and erosion, to improve some features of the images, and the correlation between images to determine the similarity between images pattern and specific image's segments of the part to be inspected. The experimental results produced an efficiency value of 92% and a repeatability of 94%. Furthermore, experimentation showed that the developed vision system performance is independent of ambient lighting, being this a relevant aspect related with the system application since the industrial production cell where it will be used involves this requirement.

Key words: artificial vision system, laser profilometry, inspection, image processing, automotive subassembly.

1. Introducción

En el área de automatización de procesos son comunes las tareas de análisis, identificación y conteo de elementos utili-

zando diversos métodos que van desde la descripción hasta la caracterización de dichos elementos.

Una alternativa de automatización es el uso de sistemas de visión que permitan de forma rápida, segura y confiable, la supervisión de procesos industriales que impliquen tareas de identificación o clasificación de elementos.

Respecto a las aplicaciones de los sistemas de visión en la industria automotriz se presenta en [1] un método para la inspección visual automática en tiempo real en la fabricación de piezas industriales, enfocado al control de calidad posproducción, donde se determina si los orificios que posee la pieza se encuentran situados en la posición correcta, teniendo en cuenta ciertas tolerancias de fabricación.

Se emplea un sistema basado en una máquina de visión (MVS) en [2] enfocado a la detección de defectos en hojas metálicas industriales utilizadas para la fabricación de piezas automotrices. Este sistema es capaz de identificar pequeñas imperfecciones o protuberancias que la hoja metálica o parte automotriz pudiera tener como: marcas de herramientas, golpes, fracturas, ralladuras y picos, la investigación se dedicó principalmente a este tipo de imperfecciones, utilizando esta información para el monitoreo del desempeño de los procesos de mecanizado de hojas de acero en la industria del automóvil.

Una revisión de las tecnologías asociadas con la inspección visual automática en tiempo real de producción se ofrece en [3], tal como se aplica en situaciones industriales. En el documento, el estudio se centra en las áreas que han recibido escasa atención de la comunidad de investigación, pero que parece van a ser cada vez más importantes en los próximos años, es decir, la robustez del sistema y la verificación, incluyendo la verificación temporal.

En [4] se trata del desarrollo de un sistema de visión basado en la inspección automática de tuercas soldadas en la bisagra de apoyo para la tapa de la cajuela de un automóvil. En este sistema automático de inspección se introduce una herramienta de diseño mecánico en 3D, la cual se utiliza para proporcionar los datos exactos reales en cuanto a las tolerancias que se pueden tener y evitar, así, las fallas de diseño. El algoritmo realiza una comparación para determinar y distinguir los productos de buena calidad y los de mala calidad. Este algoritmo fue programado utilizando la plataforma LabVIEW de *National Instruments*. Basado en la distancia euclidiana, el algoritmo principal contiene el modo de funcionamiento, tolerancias y compensaciones que dependen de la variación en las condiciones de iluminación.

El desarrollo de una estación de control de calidad orientada a la inspección y verificación de la calidad de fabricación de piezas mecanizadas, basada en visión artificial y acoplada a un sistema de manufactura se expone en [5]. El sistema analiza las piezas con base en una plantilla configurada previamente con ayuda de una pieza patrón y luego aplica dicha plantilla sobre un lote de piezas, como una herramienta de medición para ejecutar tareas de inspección dentro de un plan de proceso en una celda integrada de manufactura.

La caracterización metrológica del perfil de piezas de goma o caucho utilizadas en la construcción de automóviles se trata en [6]. El trabajo se basa en un sistema de visión estereoscópica para la inspección y medición de perfiles de caucho elaborados en una planta industrial, los cuales son utilizados posteriormente en los automóviles, por lo que se requiere que el producto cumpla con ciertas condiciones o requerimientos.

Se desarrolla un sistema de visión automatizado en [7], el cual se utiliza para inspeccionar piezas de automóviles, como bombas, después del montaje de las diferentes partes del automóvil. La inspección se lleva a cabo para detectar las partes faltantes, una mala alineación de las piezas y el excedente de tolerancia en los componentes. El trabajo propone también una metodología para el reconocimiento óptico de caracteres y extracción de características.

Por último, se tiene en [8] la propuesta de un sistema de visión por computadora para la inspección del pintado automático de las partes del automóvil en el contexto de control de calidad en la fabricación industrial. Este sistema analiza las imágenes adquiridas secuencialmente de la carrocería del automóvil para detectar diferentes tipos de defectos como rayones, gotas de pintura, astillado y puntos.

Una problemática en los sistemas de visión tradicionales es su alta sensibilidad a los cambios de iluminación, por lo cual su etapa de calibración es muy laboriosa y se lleva a cabo frecuentemente. Una alternativa es el uso de un sistema de perfilometría láser calibrado para operar en la frecuencia del láser utilizado. Esta característica evita largas y frecuentes etapas de calibración.

En el presente trabajo se establece una metodología de uso general basada en la técnica de perfilometría láser que se aplica para la inspección del tipo presencia/ausencia de subensambles automotrices. Concretamente, se propone un sistema de visión artificial basado en esta técnica y metodología para la inspección de una parte estructural de un automóvil, como solución a un problema propuesto por una empresa del ramo automotriz.

El artículo está estructurado de la siguiente manera. La sección 2 trata lo referente a la técnica utilizada. El desarrollo del sistema de inspección se expone en la sección 3, mientras que el diseño y desarrollo de experimentos se describe en la sección 4. Por último, en la sección 5 se muestran los resultados obtenidos y se plantean algunas conclusiones.

2. Perfilometría láser

Existen dos tipos de perfilometría, la que se efectúa en dos dimensiones y la realizada en tres dimensiones. La primera es una técnica que consiste en la identificación del perfil o contorno de una pieza u objeto haciendo uso de las diferencias de contraste que existen entre el objeto y su entorno.

Algunas aplicaciones de este tipo de perfilometría son: la detección de los perfiles de las letras en las hojas de texto para su identificación, la obtención de contornos en frutas o verduras para determinar su tamaño y en la industria del automóvil para distinguir formas.

La perfilometría en tres dimensiones consiste también en la identificación de perfiles o contornos, con la diferencia de que en este caso se toma en consideración también la profundidad del objeto que se pretende identificar.

La perfilometría bidimensional es la utilizada en el trabajo que se presenta, con la variante de que se utiliza un láser como fuente de iluminación para la identificación de contornos, a diferencia del método común o tradicional que utiliza la iluminación normal existente.

A esta técnica que conjunta la perfilometría y la iluminación por medio de un dispositivo láser se le conoce como perfilometría láser y se ha convertido en una de las más apropiadas para diseñar sistemas de visión artificial utilizados en la industria para estimar, medir y fabricar formas bidimensionales o tridimensionales de objetos físicos [9].

Para determinar la profundidad de un relieve (véase figura 1), utilizando la perfilometría en dos dimensiones, se utiliza la ecuación 1:

$$P = D_d \tan \theta \quad (1)$$

siendo P la profundidad del relieve, D_d el desplazamiento de la línea láser debido al relieve y θ el ángulo de incidencia del haz láser.

Es importante mencionar que, de acuerdo a la ecuación 1, el ancho de la línea láser determina la resolución con la cual se puede medir la profundidad.

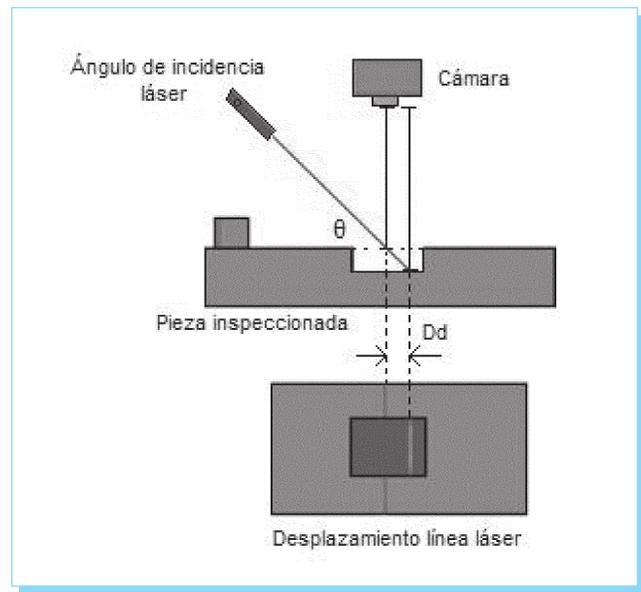


Fig. 1. Profundidad de un relieve en una pieza.

La perfilometría láser trae consigo una diferencia significativa para el procesamiento de la imagen. Ésta consiste en que la identificación de los elementos no se basa en el contraste entre la intensidad de la luz reflejada por el objeto a identificar y la reflejada por la zona situada en su vecindad, sino que se fundamenta en el cambio que sufre la línea láser cuando ésta se proyecta sobre el objeto (véase figura 2).

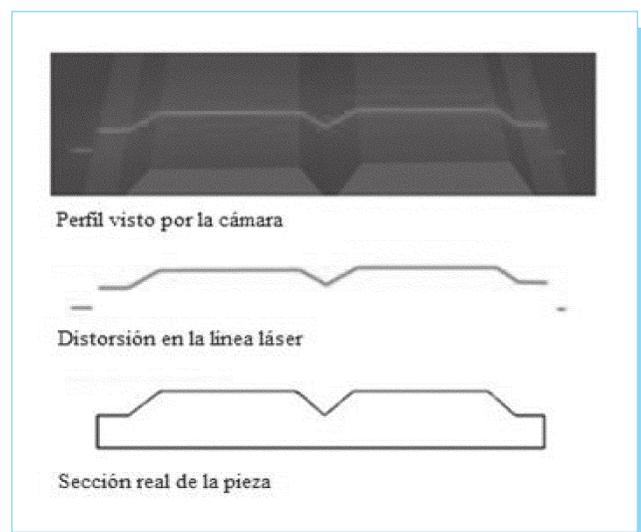


Fig. 2. Imagen mediante línea láser.

El empleo del láser suprime en un alto porcentaje la susceptibilidad del sistema a los cambios de iluminación ambiental permitiendo la utilización del sistema en zonas de trabajo donde se presenten alteraciones frecuentes en la iluminación provocadas por las tareas propias de los procesos, como es el caso de la soldadura por arco eléctrico.

Lo anterior debido a la principal característica de los dispositivos láser que es la distribución espacial de la intensidad del haz emitido. Como se puede observar en la figura 3, la intensidad del haz láser presenta una distribución gaussiana, teniendo su valor máximo en el centro del haz, lo cual permite elegir el umbral adecuado para la binarización de la imagen, eliminando cualquier perturbación originada por los cambios en la iluminación ambiental.

3. Desarrollo

En esta sección, primeramente se define el problema que da lugar al trabajo, describiendo para ello brevemente las condiciones y características tanto del área de trabajo como de la pieza a inspeccionar. Posteriormente se describen la óptica del sistema desarrollado y los algoritmos de procesamiento de imágenes utilizados.

3.1. Problemática

La parte automotriz a analizar es un subensamble de un chasis de automóvil, el cual es una pieza metálica opaca que cuenta con diferentes elementos, siendo éstos puntos de soldadura, orificios y roscas internas (véase figura 4), los cuales se colocan en ciertas etapas de su fabricación y pueden ser omitidos, ya sea por error humano o de la maquinaria.

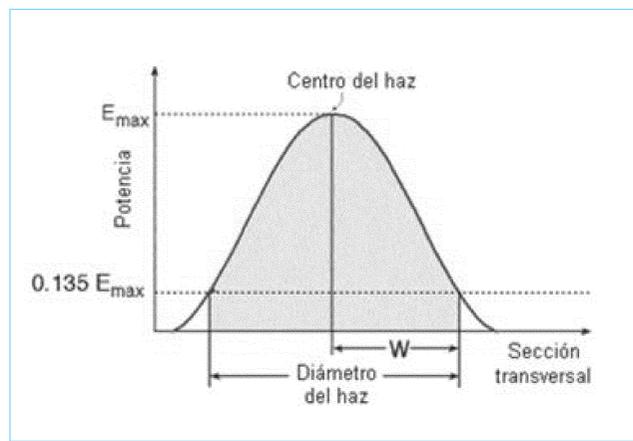


Fig. 3. Distribución espacial de un láser.

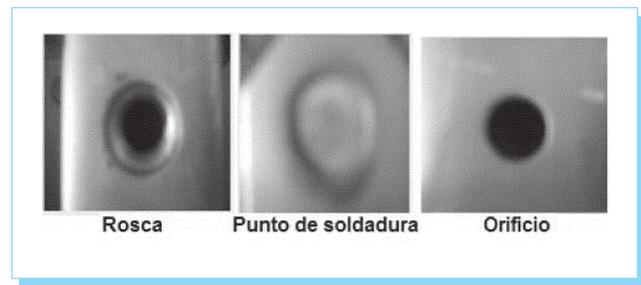


Fig. 4. Elementos a identificar.

Es de suma importancia que ninguno de estos elementos esté ausente en el subensamble, por lo cual es necesario realizar su inspección para verificar que todos ellos se encuentren presentes.

Así, el principal objetivo del proyecto es el desarrollo de un sistema automático de visión que sea capaz de identificar y contar los elementos específicos de esa pieza automotriz.

Las dimensiones del subensamble a inspeccionar son aproximadamente 102 cm de largo, 21 cm de ancho y 4.5 cm de profundidad. Su peso es de aproximadamente 4 kg (véase figura 5).

En la tabla 1 se pueden observar las dimensiones de los elementos a identificar.

En esta aplicación específica, uno de los mayores problemas a resolver consiste en la perturbación que introducen los cambios frecuentes en la iluminación ambiental, provocados por las máquinas soldadoras que se encuentran en operación permanentemente dentro y en los alrededores de la celda de trabajo donde se realiza la tarea de inspección.

Tabla 1. Dimensiones de los elementos.

Elemento	Diámetro (mm)	Profundidad (mm)
Rosca mayor	9.73	-
Rosca menor	8.69	0.703
Punto de soldadura	5.05	-
Orificio	8.01	-

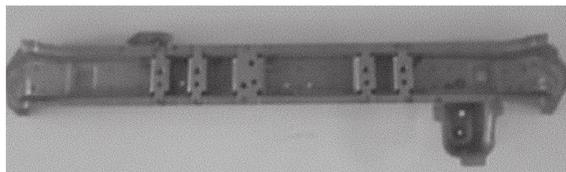


Fig. 5. Subensamble a inspeccionar.

3.2. Sistema óptico

En la figura 6 se puede observar la ubicación de cada uno de los componentes utilizados para integrar el sistema de visión.

Se usó un dispositivo láser con potencia de salida de 100 mW y longitud de onda de 660 nm, al cual se le acopló una lente *single line* con la finalidad de modificar el haz láser de forma circular a forma lineal, para permitir el barrido del subensamble. El dispositivo láser se ubicó en una estructura fija por encima de la plataforma móvil en la que se monta el subensamble para ser desplazado linealmente con el fin de someterlo a la tarea de barrido.

Para la captura de la imagen se utilizó una cámara monocromática que proporciona imágenes de 256 niveles de gris con una resolución de 640 x 480 píxeles. El ángulo de visión de la cámara es de 35 grados. La frecuencia de captura utilizada es de 32 fotografías por segundo.

Tanto la cámara como el dispositivo láser se ubicaron a una altura de 50 cm por encima del subensamble a inspeccionar. Esta altura determina el campo de visión de la cámara con base en la ecuación 2.

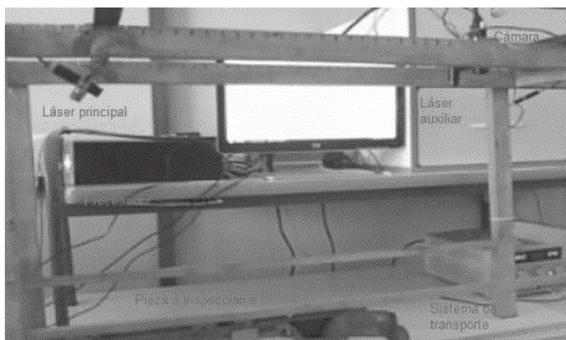


Fig. 6. Elementos de hardware.

$$C_v = 2h \tan \frac{\alpha}{2} \quad (2)$$

siendo α el ángulo de visión de la cámara y h la altura de la cámara respecto al subensamble. Por lo tanto, el campo de visión es igual a 31.53 cm, lo cual indica que la altura de la cámara igual a 50 cm es adecuada, ya que es suficiente para capturar en su totalidad una franja que cubra completamente el ancho de la pieza, con un margen de tolerancia del 50% aproximadamente.

Por otra parte, la separación entre la cámara y el dispositivo láser es de 60 cm, con lo cual el ángulo de incidencia del haz láser respecto al centro del ángulo de visión de la cámara es de 40 grados.

3.3. Captura y reconstrucción de la imagen

Los algoritmos utilizados se implementaron para llevar a cabo las tareas de captura y reconstrucción de la imagen, de extracción de patrones, y de reconocimiento y conteo de elementos.

El ambiente de trabajo en el que se desarrolló el sistema de visión propuesto es Matlab, sobre el cual se diseñaron los procesos básicos para el tratamiento y análisis de las imágenes capturadas utilizando perfilometría láser.

El algoritmo correspondiente a la captura y reconstrucción de la imagen de la pieza, incluyendo la tarea de calibración y la de binarización de la imagen, se muestra en el diagrama de flujo de la figura 7.

Como tarea de preprocesamiento se realiza la binarización de la imagen utilizando la ecuación 3:

$$B(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } f(x,y) > t \\ 0 & \text{si } f(x,y) \leq t \end{cases} \quad (3)$$

siendo $B(x,y)$ el valor binario (0 = negro, 1= blanco) para el pixel de la imagen de salida, $f(x,y)$ la intensidad del pixel de la imagen en niveles de gris y t el umbral de binarización.

Otra técnica utilizada es la denominada dilatación de la imagen, para la cual se aplica la ecuación 4:

$$D = A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (4)$$

donde D es la imagen dilatada, A la imagen que será dilatada y B el elemento estructurante que dilatará la imagen.

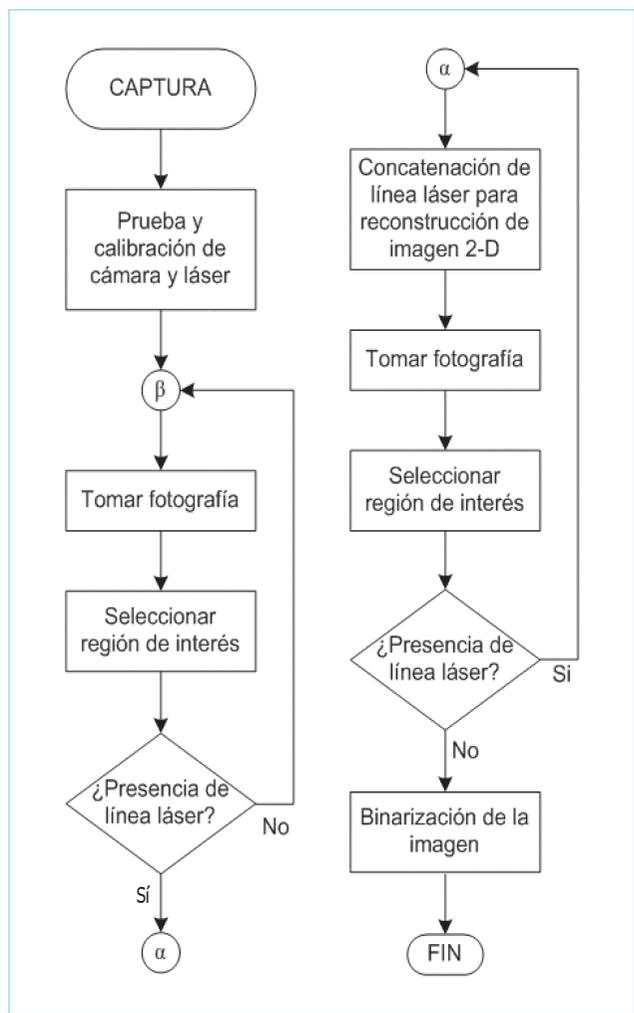


Fig. 7. Captura de la imagen.

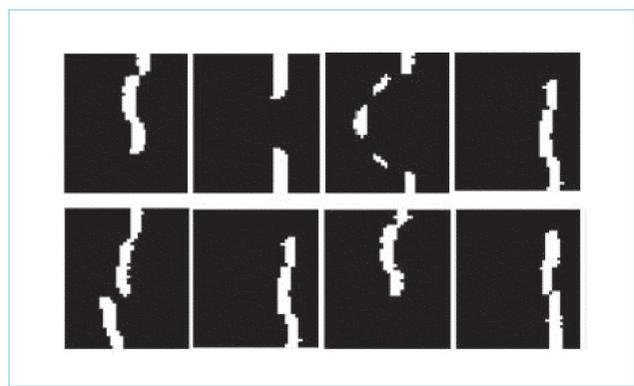


Fig. 8. Patrones de elementos de diferente clase.

3.4. Generación de patrones de comparación

El proceso de inspección fundamentalmente implica la tarea de clasificación, para la cual es necesario contar con un conjunto de imágenes patrón (véase figura 8).

Este conjunto conforma la base de imágenes de referencia para fines de comparación con las imágenes obtenidas durante el análisis de la pieza.

El algoritmo empleado para la generación de los patrones correspondientes a los diferentes elementos se observa en la figura 9.

3.5. Identificación y conteo de elementos

Por último, como parte del procesamiento de las imágenes, se tiene la identificación y conteo de los elementos, lo cual se realiza utilizando el algoritmo mostrado en la figura 10.

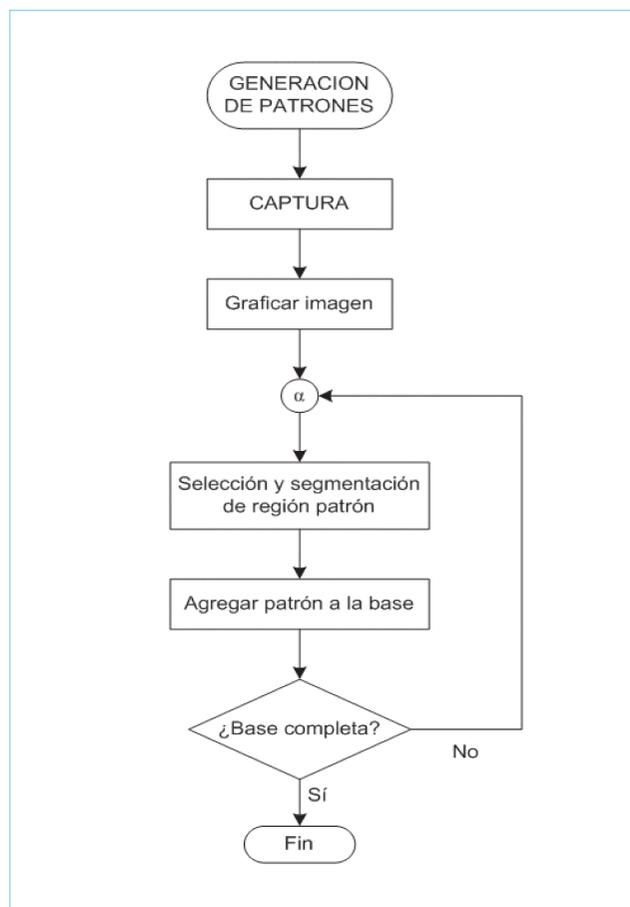


Fig. 9. Generación de patrones.

La comparación se lleva a efecto con base en el coeficiente de correlación obtenido mediante la ecuación 5.

$$r = \frac{\sum_m \sum_n [(A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})]}{\sqrt{[\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2][\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2]}} \quad (5)$$

donde r es el coeficiente de correlación, A_{mn} es la intensidad del pixel en la posición m,n de la imagen 1 y B_{mn} la intensidad del pixel en la posición m,n de la imagen 2.

Los valores obtenidos para los coeficientes de correlación están en el intervalo $[0,1]$, donde el valor 0 indica una correlación nula y el valor 1 indica la correlación máxima entre las imágenes, proporcionando lo anterior valores de similitud de las características espaciales entre las dos imágenes comparadas.

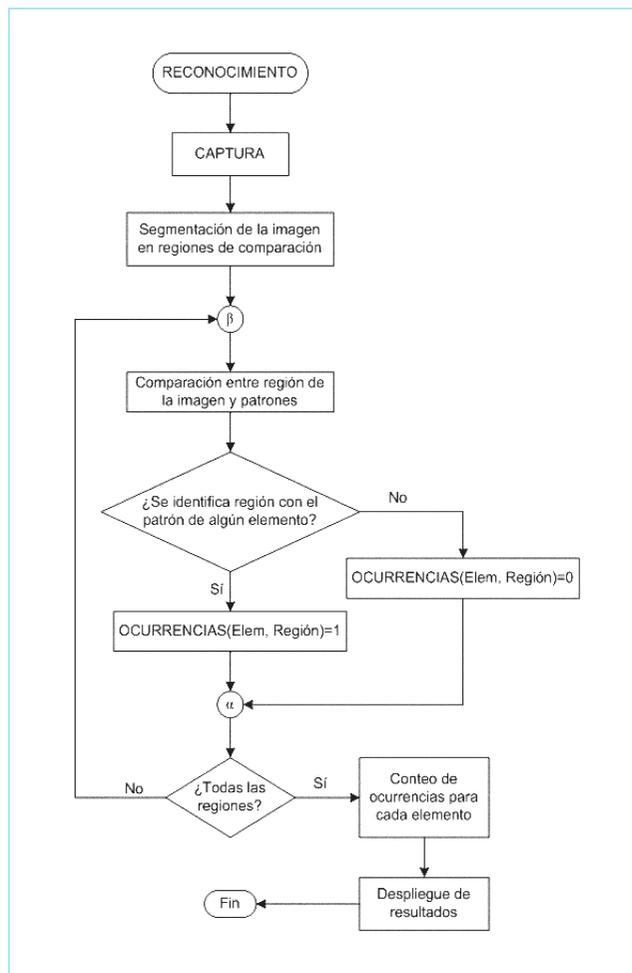


Fig. 10. Reconocimiento y conteo de elementos.

A cada patrón se le asigna un umbral para el coeficiente de correlación. Si para una región bajo prueba dada, el coeficiente de correlación alcanza o supera el umbral, en la matriz de OCURRENCIAS, en la celda correspondiente a la región bajo prueba y al elemento perteneciente al patrón, se guarda un 1, en caso contrario se guarda un 0.

4. Experimentación y resultados

4.1. Experimentación

El desarrollo de la experimentación se diseñó de forma que simulara las condiciones reales del ambiente de trabajo de una planta de ensambles automotrices. Es decir, se realizaron experimentos bajo diferentes condiciones de iluminación y posición de la pieza con respecto al eje vertical de la cámara (véase figura 11), que son las dos variables más importantes por las cuales el funcionamiento del sistema de visión podría verse afectado.

En cuanto a las condiciones de luminosidad se realizaron las pruebas en diferentes momentos del día (mañana, medio día y tarde), lo cual ocasionaba variaciones en la iluminación, que es el factor más crítico para los sistemas de visión tradicionales.

Adicionalmente, para asegurar que el desempeño del sistema diseñado no se afectara con cambios en la iluminación, se realizaron experimentos en los que se introdujo una variación intermitente de la iluminación para así simular los destellos que ocasionan las máquinas soldadoras que están presentes en el ambiente de trabajo del sistema.

Esto se realizó utilizando una fuente de luz estroboscópica que permitiera variar la frecuencia del encendido (destellos). Esta fuente de luz se colocó de forma que incidiera directamente sobre la pieza, como se muestra en la figura 12. Asegurando con esto los cambios repentinos en la iluminación, con frecuencia variable.

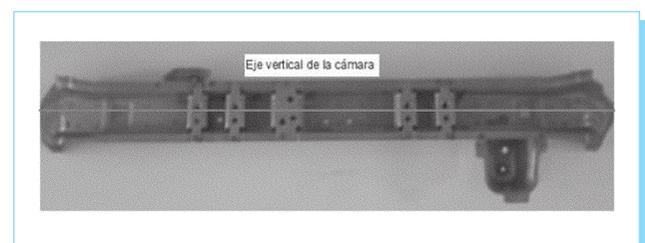


Fig. 11. Pieza con ángulo de posición de 0°.

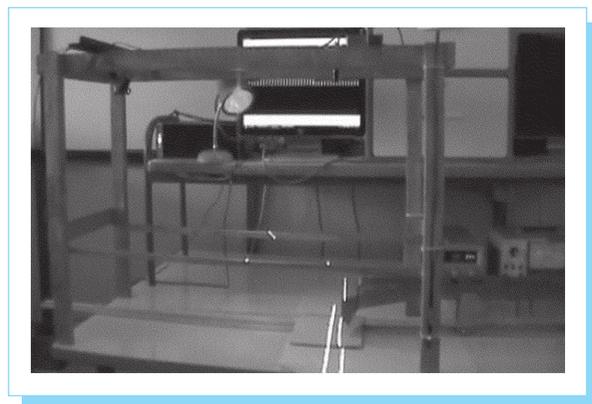


Fig. 12. Luz estroboscópica sobre la pieza.

Se realizaron 20 experimentos, las condiciones bajo las cuales se procedió para cada uno de éstos son:

- Las pruebas 1 a 5 fueron realizadas con iluminación natural por la mañana.
- Las pruebas 6 a 10 fueron realizadas con iluminación natural del medio día.
- Las pruebas 11 a 15 fueron realizadas con iluminación natural de la tarde.
- Las pruebas 15 a 20 fueron realizadas con iluminación natural de la tarde y luz estroboscópica a diferentes frecuencias de destello (1, 2, 5 y 10 destellos por segundo).

De esta manera, la experimentación generó un total de 20 pruebas y 100 resultados. Todas las pruebas se realizaron con un ángulo de posición de la pieza entre 0° y 2°.

4.2. Resultados

Cada prueba arroja una serie de cinco resultados. Siendo éstos, los que corresponden a cada subclase de elementos presentes en la pieza.

En la tabla 2 se concentran los resultados obtenidos al realizar la experimentación sobre el prototipo final de acuerdo al diseño de experimentos elaborado como se mencionó.

A partir de estos resultados se derivan, estadísticamente, los siguientes identificadores que permiten evaluar el desempeño del sistema:

- identificación por prueba de 91.3%
- repetibilidad del 94%
- error en las pruebas de 1.5%
- eficiencia de 92%

5. Conclusiones

De los resultados obtenidos se concluye que el sistema de visión basado en la perfilometría láser puede ser utilizado para la inspección del tipo ausencia/presencia de componentes en subensambles automotrices en tiempo real de 100% del producto con una eficiencia de 92%. La técnica de perfilometría láser para la identificación y conteo de elementos específicos de un componente automotriz no es susceptible a los cambios de iluminación presentes en el ambiente de fabricación.

También la técnica de perfilometría láser demuestra que puede ser utilizada para la identificación de características específicas en piezas totalmente metálicas que posean diferentes grados de reflexión, situación que normalmente dificulta la inspección cuando se utilizan métodos convencionales.

Se logra la independencia del factor humano, cuidando su integridad física si es que se requiere trabajar en condiciones extremas para realizar el análisis de los elementos de la pieza como pueden ser altas temperaturas o condiciones tóxicas.

Tabla 2. Resultados de la experimentación sobre el prototipo final.

Prueba	Puntos soldadura superiores	Puntos soldadura inferiores	Roscas mayores	Roscas menores	Orificios
1	5	7	4	2	5
2	5	7	4	2	5
3	4	7	4	2	5
4	3	7	4	2	5
5	5	7	4	2	5
6	5	7	4	2	5
7	5	7	4	2	5
8	5	7	4	2	5
9	5	7	4	2	5
10	5	7	4	2	5
11	5	7	4	2	5
12	5	7	4	2	5
13	4	7	4	2	5
14	4	7	4	2	5
15	5	7	4	2	4
16	5	7	4	2	5
17	5	7	4	2	5
18	5	7	4	2	5
19	5	7	4	2	5
20	4	7	4	2	5

Las características del elemento se manifiestan en la línea láser, por lo cual se pueden automatizar tareas repetitivas de inspección, realizadas hasta ahora por el operador con lo que se pueden efectuar controles de calidad.

Se puede tener un análisis continuo en tiempo real de fabricación al utilizarse en etapas intermedias de la producción sin contacto físico. Además de poder ser modificado para utilizarse en la identificación de elementos de piezas diferentes.

El tiempo requerido por el sistema para la inspección, la identificación y el conteo de los elementos es prácticamente igual al requerido para la inspección humana. Sin embargo, es importante hacer notar que en la inspección humana se pueden presentar tanto falsos positivos como falsos negativos, mientras que en el sistema de visión desarrollado una buena selección de los valores mínimos para los coeficientes de correlación asegura que sólo se puedan presentar falsos negativos. Esto representa una ventaja significativa a favor del sistema con respecto a la inspección humana.

Trabajos futuros. Para trabajos futuros se tienen varias mejoras del sistema de visión utilizado, como son:

- reducir el tiempo de procesamiento,
- modificar el sistema de captura,
- modificar el sistema de arrastre,
- aumentar la eficiencia, y
- crear una interfaz de usuario cómoda e intuitiva.

Referencias

- [1] H. Yalcin, M. Tezol, H. I. Bozma, y C. Onganer. "BUVIS, A novel approach to real-time automated visual inspection", Intelligent Systems Laboratory Department of Electrical & Electronics Engineering, Technical Report, Bogazici University, Istanbul, Turkey, 1997.
- [2] P. Marino, M. A. Domínguez, y M. Alonso. "Machine-vision based detection for sheet metal industries", Industrial Electronics Society, *IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE*, vol.3, pp.1330-1335, 1999.
- [3] A. D. H. Thomas, M. G. Rodd, J. D. Holt, y C. J. Neill. "Real-time Industrial Visual Inspection: A Review", Department of Electrical and Electronic Engineering, Technical Report, University of Wales, UK, 2002.
- [4] Seong-Min Kim, Young-Choon Lee, y Seong-Cheol Lee. "Vision Based Automatic Inspection System for Nuts Welded on the Support Hinge", *SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference*, pp.1508-1512, 18-21 Oct. 2006.
- [5] G. M. Zambrano Rey, C. A. Parra Rodríguez, M. R. Manrique Torres, y C. J. Bustacara Medina. "Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM)", *Ingeniería y Universidad*, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia, vol. 11, núm. 001, pp. 33-55, enero-junio 2007.
- [6] R. Anchini, G. Di Leo, C. Liguori, y A. Paolillo. "Metrological Characterization of a Vision-Based Measurement System for the Online Inspection of Automotive Rubber Profile", *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol.58, núm.1, pp.4-13, enero 2009
- [7] A. Majumder. "Image processing algorithms for improved character recognition and components inspection", *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009, World Congress on*, pp.531-536, 9-11, dic. 2009
- [8] P. Kamani, E. Noursadeghi, y A. Afshar. Towhidkhah, F.; "Automatic Paint Defect Detection and Classification of Car Body", *Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2011 7th Iranian*, pp.1-6, 16-17, nov. 2011.
- [9] K. R. Pramod Rastogi y H. Erwin. *Optical Methods for Solid Mechanics*, Edit. Wiley- VCH; Berlin, junio 2012, 432 p.

Portal de portales Latindex

www.latindex.ppl.unam.mx/