

CONSTRUCCIÓN DE UN SENSOR DE BAJO COSTO PARA AUTOMATIZACIÓN DE INSPECCIÓN A LA CALIDAD EN PROCESOS DE MANUFACTURA DE CILINDRO DE GAS LICUADO

Ing. Darien Menéndez¹, Dr. C. Marcelino Rivas²

1. Hospital Materno Provincial, Santa Rita e/ Santa Cecilia y San Isidro, Cuba. darienmm.mtz@infomed.sld.cu

2. Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. marcelino.rivas@umcc.cu

Resumen

El presente trabajo expone el diseño de un sensor para la inspección visual del cordón resultante de soldadura en el proceso de manufactura de los cilindros de gas licuado. La medición de parámetros como la altura y el ancho del cordón son empleados para establecer patrones de calidad de la soldadura, posibilitando mantener un control de la calidad en líneas de producción. El diseño del sensor se ha propuesto teniendo en cuenta las características y necesidades de la empresa “Conformat, Noel Fernández” productora de cilindros de gas licuado en la ciudad de Matanzas, atendiendo a bajos costes y movilidad para su implantación en la línea de producción. Se hace uso de un software con técnicas de procesamiento digital de imágenes a fin de presentar un método de inspección no invasivo sobre la soldadura.

Palabras claves: Medición, Soldadura, Procesamiento Imagen

Introducción

La inspección visual en una cadena de montaje es una tarea repetitiva, si se logra dotar a una máquina con los procedimientos adecuados, podrá realizar dicha tarea con mayor rapidez y calidad que un humano. No son pocas las industrias que han incorporado satisfactoriamente sistemas de visión artificial para asegurar la calidad de sus productos, los constituyen según (Di Leo et al, 2017): la industria de automóviles, semiconductores, de alimentos y la farmacéutica; aunque existen una amplia gama de estudios en muchas más. Un resumen de la amplia aplicación de los sistemas de visión artificial empleados para la inspección de calidad de la industria alimentaria, lo realiza (Brosnan y Sun, 2004).

El presente trabajo aborda la confección de un sensor de bajo costo para la inspección automatizada del cordón de soldadura, en la manufactura de los cilindros de gas licuados que se producen en la empresa de Conformación de Metales (Conformat) Noel Fernández en la ciudad de Matanzas. Actualmente la empresa se encuentra en perfeccionamiento y ampliando su capacidad productiva, por lo que abre paso al aumento de la producción mediante el uso de nuevo equipamiento y tecnologías.

La inspección a la calidad en el proceso de manufactura del cilindro de gas, es de vital importancia. Dada la presión a la que son sometidos los cilindros por el gas contenido, una falla puede convertir al cilindro en un elemento explosivo, y su distribución alcanza a todos los hogares del país. Entre los elementos más importantes a tener en cuenta durante la inspección se destaca la soldadura ecuatorial, sus parámetros son descrito en (NORMA COVENIN). El tipo de soldadura que se emplea es de arco sumergido, y lo analizado por la inspección son las características del cordón de soldadura.

La inspección que en ella se lleva a cabo se realiza de forma manual, por un operario, el cual selecciona una muestra representativa de la totalidad de los cilindros confeccionados. Para inspeccionar los parámetros de calidad del cordón de soldadura se emplea un pie de rey, con el cual se mide el ancho y la altura del cordón. Según los estándares de calidad definidos por la empresa, el cordón de soldadura debe tener las características siguientes:

- Ancho: 10mm con ± 2 mm
- Altura: 1.5mm con ± 1 mm
- No presencia de hendiduras

Según los requerimientos antes mencionados, un sensor capaz de identificar en tiempo real anomalías en el proceso de soldadura constituiría una vital herramienta para la inspección de la calidad de producción. Pudiéndose emplear en la totalidad de los cilindros y no en una muestra de ellos. Permitiría además identificar los errores tempranamente, evitando que

continúen cilindros defectuosos en posteriores etapas de manufactura, y por consiguiente un ahorro de materiales y tiempo en el proceso de producción.

El sensor diseñado deberá poseer las siguientes características: capacidad de medir las pequeñas variaciones del cordón de soldadura; rápido procesamiento, puesto que no puede afectar la producción, y bajo costo de fabricación e implantación. A continuación, se procede a explicar los componentes que conforman un sistema de inspección automatizada, y la propuesta presentada.

Sistema de Inspección Automatizada

Los componentes de un sistema típico de inspección automatizada son: cámara, iluminación, CPU (unidad de procesamiento), UCP (unidad de control de la producción).

Cámara:

Las cámaras son un componente indispensable en los sistemas de inspección visual, pues estos pretenden simular la visión humana. Su objetivo es capturar la escena real y enviar en forma de imagen digital los datos para su análisis por la unidad de procesamiento. Según plantea (Zhang y Li, 2014), las cámaras de tipo CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) son las ideales para su empleo en líneas de producción, por su rapidez; pero por motivos de presentar una propuesta de bajo costo, de sólo \$19,95, se empleará la denominada PI-CAMERA, diseñada para su uso en computadoras de placa reducidas, sus características se describen a continuación:

Resolución Nativa	2592 x 1944 (5MP)
Formato Video	1080p30, 720p60
Interfaz	Csi
Peso	3g
Tamaño óptico	1/4"
Otras	1,4 μm X 1,4 μm píxeles con tecnología OmniBSI de alto rendimiento (alta sensibilidad, baja diafonía, ruido bajo) Funciones de control de imagen automáticas Control automático de exposición (AEC) Balance de blancos automático (AWB) Filtro de banda automático (ABF) Calibración del nivel de negro automático (ABLNC) Controles programables para la velocidad de fotogramas, AEC / AGC 16 zonas / posición / control de peso, espejo y lado, recorte, ventanas, y el panorama

Iluminación: Laser de línea, LFL 650nm-5mW clase 1 modelo: 70104011

La iluminación que se emplea en el proceso de captura de las imágenes es un aspecto que debe ser cuidadosamente atendido, su objetivo es asistir en una mejor captura de las imágenes a procesar. Una inadecuada iluminación puede introducir defectos en las imágenes adquiridas y por consiguiente un mal procesamiento y resultado final.

Las condiciones de iluminación actuales en la fábrica no son las más adecuadas para el empleo de cámaras. El uso de luminarias convencionales o de tipo LED, por su bajo consumo, excelente iluminación y resistencia, no son ideales en este caso, por tratarse de superficies metálicas que reflejan fácilmente la luz incidente. Por tanto, cualquier intento de mejorar la iluminación mediante el empleo de lámparas, propiciará el aumento de efectos no deseados durante el proceso de captura de imágenes; para evitar tal situación, se hace uso de luz estructurada.

La luz estructurada se conforma con la impresión de un patrón usando luz láser. El patrón seleccionado es una línea, la cual se distorsiona cuando se encuentra con el cordón de soldadura. Esta distorsión es empleada para determinar las dimensiones del cordón, que son de importancia a la hora de determinar la calidad de la soldadura. El empleo de la luz estructurada, elimina los efectos negativos de puedan producir las diversas condiciones de iluminación ambiental.

El dispositivo emisor de la luz estructurada para la confección del prototipo propuesto es: LFL 650nm MODELO: 70104011 (Laser de Línea), ver imagen.



Unidad de Procesamiento:

Para la ejecución de los algoritmos seleccionados que procesarán las imágenes capturadas, se requiere de una unidad de procesamiento. Por lo general se emplean estaciones de trabajo de una adecuada potencia de cálculo, ejemplo (Nashat et al., 2011). La propuesta de los autores se inclina por el uso de una computadora de placa reducida, con la intención de

bajar los costos de implementación, con la consecuente pérdida de capacidad de procesamiento, que deberá ser compensada por otras técnicas explicadas más adelante.

Con los avances en la electrónica se ha hecho posible la construcción a bajos precios de ordenadores de placas reducidas, tal es el caso de la Raspberry Pi empleada como componente importante de la solución propuesta por este proyecto. La Raspberry Pi ha ganado gran popularidad en la comunidad DIY (siglas de "Do It Yourself", "Hagalo Usted Mismo") por las potencialidades que brinda a precios muy bajos; lo que la convierte en componente ideal para emprender proyectos que no dispongan de grandes fondos (Maksimović, 2014), un ejemplo lo constituyen (Leccese et al., 2014) (Agrawal y Singhal, 2015) (Vujović y Maksimović, 2015).

En este proyecto se emplea la Raspberry Pi 2 B, debido a que posee mejoras y mayor capacidad de procesamiento que su antecesor modelo, con esto se evita los inconvenientes planteados por (Silva, 2015), quien realiza un estudio de factibilidad de la Raspberry Pi para aplicaciones industriales. Un ejemplo satisfactorio de su uso lo aporta (Azaiez, 2016). Las características del modelo empleado se detallan a continuación:

CPU	Broadcom BCM2836, 900 MHz quad-core ARM Cortex A7
GPU	Broadcom VideoCore IV, 54 OpenGL ES 2.0
Memoria	1 GB
Consumo	800 mA, (4.0 W)
Alimentación	5 V vía Micro USB o GPIO header
Dimensiones	85.60mm × 53.98mm64 (3.370 × 2.125 inch)
Conectividad de Red	10/100 Ethernet (RJ-45) via hub USB
Periféricos	17 x GPIO y un bus HAT ID
Nivel	
Bajo	
Costo	\$35

Procesamiento:

La unidad de procesamiento es conectada a la cámara mediante la interfaz Csi. Las imágenes capturadas son procesadas por la Raspberry haciendo uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes. El algoritmo empleado se presenta en el siguiente diagrama de bloques:

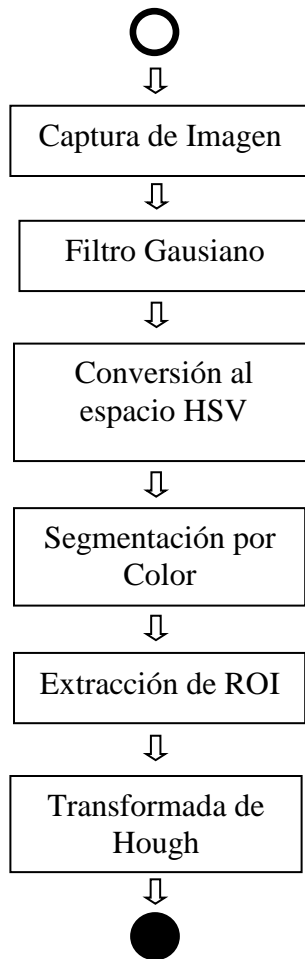
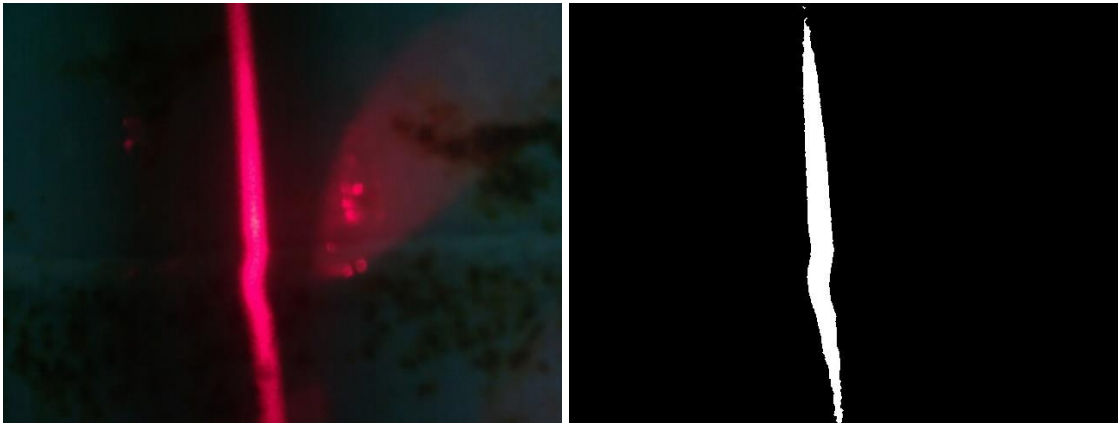


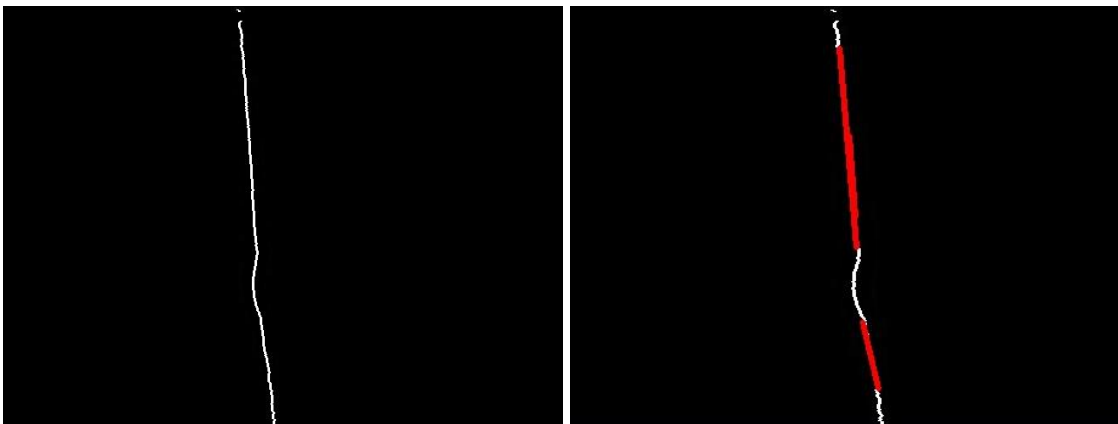
Figura 1. Diagrama de bloques del algoritmo utilizado.

En la figura 2 se muestran los pasos a seguir durante el procesamiento, (a) muestra la imagen capturada inicialmente por el dispositivo, se hace incidir el haz de láser sobre el cordón de soldadura, (b) muestra la separación del rayo en la imagen, en (c) se muestra la imagen procesada con los datos de interés y en (d) se identifican por el algoritmo dos líneas pertenecientes al haz de láser que se interrumpen por la curvatura de la luz al incidir sobre el cordón de soldadura. La separación entre las dos líneas es el ancho del cordón y la curvatura es proporcional a la altura de refuerzo del cordón.



a)

b)



c)

d)

Para la implementación del algoritmo se hizo uso del lenguaje de programación Python versión 3, por la amplia disponibilidad de librerías para proyectos científicos de que dispone y su amplia distribución en cualquier plataforma incluyendo Linux, base del sistema Raspbian empleado por la Raspberry Pi. Las técnicas de procesamiento digital de imágenes se implementaron haciendo uso de la librería OpenCV versión 3.2. Esta librería es de uso común en proyectos de visión artificial, es patrocinada por Intel, de código abierto e implementada con gran eficiencia. Para solventar la capacidad reducida de procesamiento de la Raspberry al ejecutar procedimientos de costo computacional al procesar las imágenes, precisamente se emplea la característica de que dispone la librería OpenCV, de que sus implementaciones son aceleradas mediante OpenCL, hacen uso de juegos de instrucciones nativos de la CPU y sus núcleos; por lo que su ejecución se realiza en tiempos adecuados hasta en los procesadores más modestos como el de la Raspberry.

Interfaz de la Unidad de Control:

La computadora de placa reducida seleccionada tiene la característica de poseer una interfaz GPIO (General Purpose Input/Output), por lo que las tareas de automatización pueden ser ejecutadas dentro de la unidad de procesamiento y controlar a través de esta interfaz circuitos que controlen aspectos de la producción. Esta propuesta sólo se limita a indicar la potencialidad de esta interfaz para la automatización, pues la fábrica seleccionada no dispone actualmente de equipamiento capaz de manera práctica de ser integrable por esta vía. No obstante, la recomendación es la de emplear una simple alerta indicando la presencia de errores detectados. Proyectos para el control de luces usando la interfaz GPIO están disponibles (JAIN, 2014) y ampliamente difundidos por la comunidad DIY.

Integración:

Para la integración de los componentes antes mencionados se construyó un soporte, que pudiera sostener la Raspberry con la cámara acoplada. Un brazo articulado para sostener el láser con una separación que permita establecer un ángulo de 30° teniendo en cuenta la proyección del haz de luz y la cámara. La fuente de alimentación de corriente empleada es la diseñada para la Raspberry, y el láser recibe alimentación de una fuente de 5V y controlada por la interfaz GPIO.

Un prototipo de integración de todos los componentes quedaría de la siguiente forma:

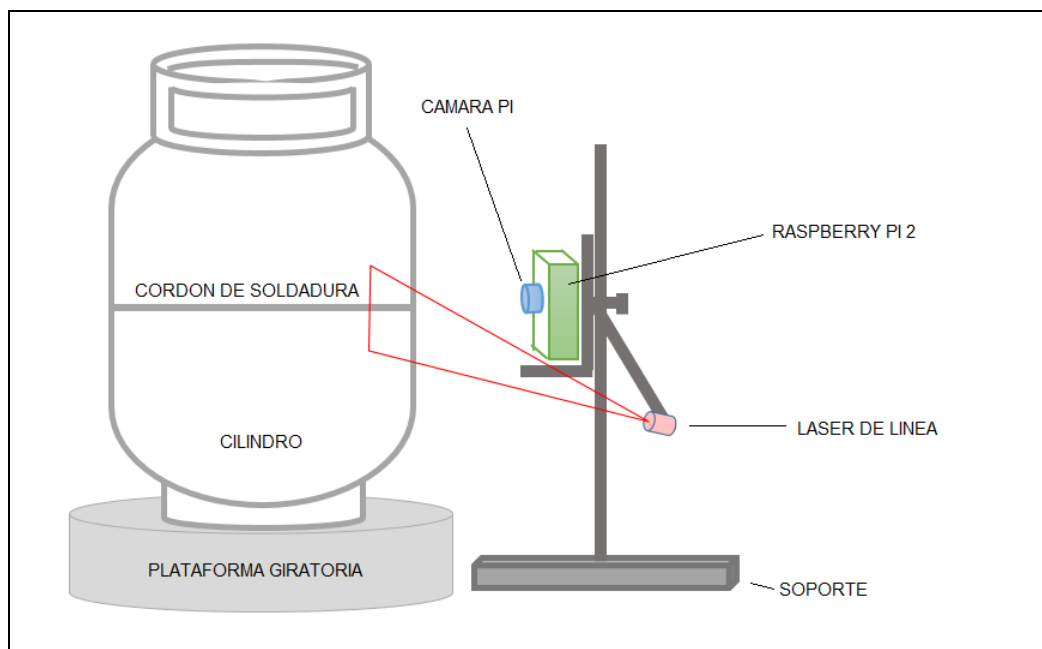


Figura 1: Esquema de un prototipo de sensor

Costo total del sistema de inspección automatizada.

El costo total está dado por la suma del costo de cada elemento que compone el sistema, por lo que:

- Costo de la cámara (PI-CAMERA): 19.95 €
- Costo del dispositivo emisor de la luz estructurada (Laser de Línea LFL 650nm MODELO: 70104011): 13.35 €
- Costo de la unidad de procesamiento (Raspberry Pi 2 B): 35.0 €
- Fuente de alimentación para el láser de línea (5V): 5 €
- Costo total: 73.3 €

Conclusiones

Con la implementación e implantación de un sensor como el propuesto, que forme parte de la línea de producción, se puede lograr un mayor rigor de la inspección a la calidad, haciéndose de forma exhaustiva y automática a la totalidad de los cilindros. Los precios de fabricación para un dispositivo de su tipo son muy bajos, por lo que con escasos presupuestos se pueden implantar en varias etapas del proceso y recopilar información útil para la toma de decisiones por parte de la empresa. El método de inspección visual seleccionado es un método no invasivo y acorde a lo establecido por la fábrica. El empleo de técnicas de procesamiento digital de imágenes permite dotar al sensor de capacidades similares a las herramientas empleadas por los inspectores de calidad de la empresa.

Bibliografía

AGRAWAL, NIKHIL; SINGHAL, SMITA. *Smart drip irrigation system using raspberry pi and arduino*. En Computing, Communication & Automation (ICCCA), 2015 International Conference on. IEEE, 2015. pp. 928-932.

AZAIEZ, S., et al., *Towards Flexibility in Future Industrial Manufacturing: A Global Framework for Self-organization of Production Cells*. Procedia Computer Science, 2016. 83: p. 1268-1273.

BROSNAN, T. y D.-W. SUN, *Improving quality inspection of food products by computer vision—a review*. Journal of Food Engineering, 2004. 61: pp. 3-16.

DI LEO, G., et al., *A vision system for the online quality monitoring of industrial manufacturing*. Optics and Lasers in Engineering, 2017. 89: pp. 162-168.

HUAMANTINCO CISNEROS, M.A., et al., *Beach carrying capacity assessment through image processing tools for coastal management*. Ocean & Coastal Management, 2016. 130: pp. 138-147.

JAIN, SARTHAK; VAIBHAV, ANANT; GOYAL, LOVELY. *Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail*. En Optimization, Reliability, and Information Technology (ICROIT), 2014 International Conference on. IEEE, 2014. pp. 277-280.

MAKSIMOVIĆ, MIRJANA, et al. *Raspberry Pi as Internet of things hardware: performances and constraints*. design issues, 2014, vol. 3, pp. 8.

NASHAT, S., et al., *Support vector machine approach to real-time inspection of biscuits on moving conveyor belt*. Computers and Electronics in Agriculture, 2011. 75(1): pp. 147-158.

NORMA COVENIN 649:97. *Instrucción técnica de soldadura ecuatorial # 2*. Código: P-09-12

LECCESE, FABIO; CAGNETTI, MARCO; TRINCA, DANIELE. *A smart city application: A fully controlled street lighting isle based on Raspberry-Pi card, a ZigBee sensor network and WiMAX*. Sensors, 2014, vol. 14, no 12, pp. 24408-24424.

SILVA, DAVID. *Estudio de viabilidad de un sistema basado en Raspberry Pi para aplicaciones de Inspección Industrial por Visión Artificial*. Universidad de Oviedo, 2015

VUJOVIĆ, VLADIMIR; MAKSIMOVIĆ, MIRJANA. *Raspberry Pi as a Sensor Web node for home automation*. Computers & Electrical Engineering, 2015, vol. 44, pp. 153-171.

ZHANG, H. y D. LI, *Applications of computer vision techniques to cotton foreign matter inspection: A review*. Computers and Electronics in Agriculture, 2014. 109: pp. 59–70.