



## *Análisis de sueldas en PCB's utilizando sistemas de visión artificial*

### *Analysis of PCB soldering using artificial vision systems*

## *Análise de soldagem de PCBs utilizando sistemas de visão artificial*

Víctor Rafael Pérez-Miranda <sup>I</sup>

[vperez@intitutos.gob.ec](mailto:vperez@intitutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-6163-5101>

Darío Javier Llanga-Herrera <sup>II</sup>

[dllanga@intitutos.gob.ec](mailto:dllanga@intitutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-7145-9538>

Jhonatan David Vistín-Bastidas <sup>III</sup>

[jvistin@institutos.gob.ec](mailto:jvistin@institutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0009-0002-3171-4412>

César Enrique Pinto-Bocancho <sup>IV</sup>

[cepinto@institutos.gob.ec](mailto:cepinto@institutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-6623-3578>

**Correspondencia:** [vperez@intitutos.gob.ec](mailto:vperez@intitutos.gob.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 22 de julio de 2024 \* **Aceptado:** 26 de agosto de 2024 \* **Publicado:** 14 de septiembre de 2024

- I. Magíster en Automatización y sistemas de control, Ingeniero en electrónica e instrumentación, Docente de automatización industrial y plc., instrumentación y sistemas de control en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.
- II. Magíster en Sistemas de Telecomunicaciones, Ingeniero en Electrónica Telecomunicaciones y Redes, Docente de las asignaturas del área de Electrónica en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.
- III. Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión, Ingeniero Automotriz, Docente de las materias de Neumática e Hidráulica, TICS Aplicada y Tecnología y procesamiento de materiales en la carrera de Electromecánica del Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.
- IV. Ingeniero industrial en procesos de Automatización Docente técnico de Seguridad Industrial y medio ambiente, Taller mecánico y Mantenimiento electromecánico del Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.

## Resumen

Se desarrolló un sistema automatizado de inspección de PCB utilizando visión artificial, con el objetivo de optimizar el proceso y reducir la fatiga del operario, ofreciendo alta confiabilidad y automatizando los procesos de control de calidad. El sistema empleó software en una tarjeta de desarrollo (Raspberry Pi), programada en Python y OpenCV. El método consiste en detectar defectos en función de imágenes digitales del PCB, utilizando tecnologías de procesamiento computacional de imágenes. El algoritmo compara dos imágenes: una que se examina en busca de errores y otra que actúa como imagen de referencia sin defectos. A través de operaciones de sustracción, análisis y reconocimiento, se identifican los defectos del PCB, que pueden visualizarse mediante una interfaz gráfica.

**Palabras clave:** Visión; Artificial; opencv; raspberry; pcb.

## Abstract

An automated PCB inspection system was developed using artificial vision, with the aim of optimizing the process and reducing operator fatigue, offering high reliability and automating quality control processes. The system used software on a development board (Raspberry Pi), programmed in Python and OpenCV. The method consists of detecting defects based on digital images of the PCB, using computer image processing technologies. The algorithm compares two images: one that is examined for errors and another that acts as a reference image without defects. Through subtraction, analysis and recognition operations, PCB defects are identified, which can be visualized through a graphical interface.

**Keywords:** Vision; Artificial; opencv; raspberry; pcb.

## Resumo

Foi desenvolvido um sistema automatizado de inspeção de PCBs através de visão artificial, com o objetivo de otimizar o processo e reduzir a fadiga do operador, oferecendo uma elevada fiabilidade e automatizando os processos de controlo de qualidade. O sistema utilizou software numa placa de desenvolvimento (Raspberry Pi), programado em Python e OpenCV. O método consiste na deteção de defeitos com base em imagens digitais da PCB, utilizando tecnologias computacionais de processamento de imagem. O algoritmo compara duas imagens: uma que é examinada em busca

de erros e outra que atua como imagem de referência sem defeitos. Através de operações de subtração, análise e reconocimiento, são identificados defeitos de PCB, que podem ser visualizados através de una interface gráfica.

**Palavras-chave:** Visão; Artificial; opencv; framboesa; placa de circuito impresso.

## Introducción

La inspección de placas de circuito impreso (PCBs) es un proceso crucial en la fabricación de dispositivos electrónicos, ya que garantiza la calidad y fiabilidad de los productos finales. Las PCBs son el núcleo de cualquier dispositivo electrónico, y los defectos en las soldaduras pueden resultar en fallos funcionales, cortocircuitos y disminución de la vida útil del dispositivo. Tradicionalmente, la inspección de PCBs ha sido realizada manualmente por operarios expertos, lo que, aunque efectivo en algunos casos, conlleva una serie de limitaciones, como la fatiga del operario, la subjetividad en la evaluación y la posibilidad de errores humanos (Smith & Johnson, 2020).

En las últimas décadas, la automatización de la inspección de PCBs ha avanzado significativamente con la incorporación de sistemas de visión artificial. Estos sistemas utilizan técnicas de procesamiento de imágenes para detectar defectos en las PCBs, como cortocircuitos, circuitos abiertos y exceso de cobre, proporcionando una alternativa más rápida y precisa que la inspección manual (Brown & White, 2018). Sin embargo, muchos de los sistemas automatizados existentes dependen de hardware especializado y de alto costo, lo que los hace inaccesibles para pequeñas y medianas empresas (Chauhan, 2011).

En respuesta a estas limitaciones, esta investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema automatizado de inspección de PCBs utilizando visión artificial, implementado con hardware accesible como la Raspberry Pi y software de código abierto como Python y OpenCV. Este enfoque no solo reduce los costos asociados con la implementación de tecnologías avanzadas, sino que también democratiza el acceso a soluciones tecnológicas innovadoras en la industria electrónica (Ulloa Javier, 2017).

El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficacia del sistema de visión artificial desarrollado en comparación con la inspección manual, analizando su precisión en la detección de defectos en PCBs. Para ello, se fabricaron y analizaron varias placas de circuito impreso con defectos intencionales e involuntarios, utilizando tanto la visión artificial como la inspección manual como métodos de comparación. Los resultados obtenidos no solo contribuirán a mejorar

los procesos de inspección en la fabricación de PCBs, sino que también ofrecerán un marco metodológico para futuras investigaciones en este campo.

## **Metodología**

La metodología empleada en esta investigación se ha diseñado cuidadosamente para cumplir con los objetivos propuestos y abordar eficazmente el objeto de estudio: el desarrollo y evaluación de un sistema automatizado de inspección de PCBs utilizando visión artificial. La investigación se llevó a cabo en varias fases, cada una de las cuales fue fundamental para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

## **Diseño Experimental**

El estudio se basó en un diseño experimental que involucró la fabricación de cuatro placas de circuito impreso (PCBs) de diferentes tamaños y densidades, en las cuales se introdujeron intencionalmente defectos comunes como cortocircuitos, circuitos abiertos, exceso de cobre, y daños en los pads. Estos defectos fueron seleccionados por ser representativos de los problemas más frecuentes en la fabricación de PCBs.

## **Sistema de Visión Artificial**

El sistema de visión artificial fue desarrollado utilizando una Raspberry Pi como plataforma de hardware, y se programó en Python, utilizando la biblioteca OpenCV para el procesamiento de imágenes. Este sistema fue diseñado para capturar imágenes de las PCBs y analizarlas en busca de defectos, utilizando algoritmos de procesamiento de imágenes que fueron optimizados para detectar los defectos previamente mencionados. La elección de la Raspberry Pi se fundamentó en su accesibilidad económica y su capacidad para manejar aplicaciones de visión artificial, mientras que OpenCV fue seleccionado por su amplia aceptación en la comunidad científica y su robustez en el procesamiento de imágenes.

## **Inspección Manual**

Para comparar la eficacia del sistema automatizado, se llevó a cabo una inspección manual de las mismas cuatro PCBs. Un operario con experiencia fue encargado de identificar los defectos

presentes en las placas, registrando sus hallazgos para compararlos con los resultados obtenidos por el sistema de visión artificial. Esta comparación directa permitió evaluar la precisión y consistencia de ambos métodos.

### **Análisis de Datos**

Los datos obtenidos de ambas metodologías de inspección (automática y manual) fueron analizados mediante la comparación de los errores detectados en las PCBs. Se calcularon los errores relativos para cada método, utilizando la fórmula:

$$E_R = \frac{|Error\ absoluto - Error\ real|}{Error\ real} \quad (1)$$

Este análisis permitió cuantificar la precisión de cada método y determinar la eficacia del sistema de visión artificial en comparación con la inspección manual.

### **Justificación del Método**

La metodología adoptada en esta investigación se justifica en la necesidad de proporcionar un enfoque sistemático y riguroso para evaluar la eficacia de un sistema automatizado frente a la inspección manual. El uso de un diseño experimental controlado, junto con la implementación de un sistema de visión artificial en hardware accesible, garantiza que los resultados obtenidos sean relevantes tanto para la industria como para el ámbito académico. Además, la comparación directa entre los métodos de inspección asegura que las conclusiones derivadas sean objetivas y basadas en datos empíricos.

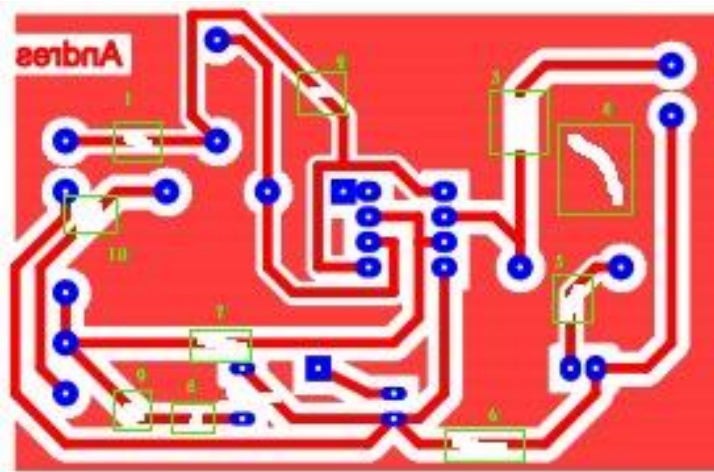
### **Validación del Sistema**

Finalmente, se realizaron pruebas adicionales para validar el sistema de visión artificial desarrollado. Estas pruebas incluyeron la variación de parámetros en los algoritmos de procesamiento de imágenes para evaluar la flexibilidad del sistema en la detección de diferentes tipos de defectos y en distintos tamaños de PCBs. La capacidad del sistema para adaptarse a diversas condiciones de operación fue considerada como un criterio clave para su éxito en aplicaciones industriales.

## Resultados

El sistema de visión artificial desarrollado fue capaz de identificar varios tipos de defectos en las placas de circuito impreso (PCBs), tales como cortocircuitos, circuitos abiertos, exceso de cobre, y otros errores comunes en el proceso de fabricación. La Figura 1 muestra un ejemplo de cómo el sistema detecta y resalta estos errores en una PCB. Los errores detectados son marcados visualmente en la imagen, lo que facilita la identificación rápida y precisa de las áreas problemáticas.

*Figura N° 1. Detección de errores en PCBs utilizando visión artificial implementada con Raspberry Pi y OpenCV.*



El sistema mostró resultados significativamente prometedores en la detección de defectos en PCBs comparado con la inspección manual. Se fabricaron cuatro placas de circuito impreso (PCBs) con defectos intencionales y no intencionales, incluyendo espurios, daños en pads, cortocircuitos y circuitos abiertos. La Tabla 1 presenta los errores detectados por el sistema de visión artificial, y la Tabla 2 muestra los errores detectados por inspección manual.

*Tabla N° 1: Errores detectados en el PCB por el sistema de visión artificial*

N.º PCB	Área PCB [cm]	Error Intencional	Error por Visión Artificial
1	14,27x13,57	20	19
2	8,65x11,08	12	12
3	11,81x12,8	7	7
4	5,48x8,19	15	16



*Tabla N° 2: Errores detectados en el PCB por la inspección manual*

N.º PCB	Área PCB [cm]	Error Intencional	Error por Visión Humana
<b>1</b>	14,27x13,57	20	15
<b>2</b>	8,65x11,08	12	10
<b>3</b>	11,81x12,8	7	7
<b>4</b>	5,48x8,19	15	13

El cálculo del error relativo de ambos métodos se muestra en la Tabla 3.

*Tabla N° 3: Errores relativos de los dos métodos de inspección*

N.º PCB	Error Intencional	Error por Visión Humana	Error por Visión Artificial	Error Relativo Visión Humana	Error Relativo Visión Artificial
<b>1</b>	20	15	19	25%	5%
<b>2</b>	12	10	12	16.67%	0%
<b>3</b>	7	7	7	0%	0%
<b>4</b>	15	13	16	13.34%	6.67%
Suma	<b>54</b>	<b>45</b>	<b>54</b>	<b>55.01%</b>	<b>11.67%</b>

## Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema de inspección automatizado con visión artificial supera notablemente a la inspección manual en términos de precisión y consistencia. El error relativo del sistema automatizado fue del 11.67%, mientras que el error relativo de la inspección manual fue del 55.01%. Esta diferencia subraya la eficacia del sistema de visión artificial para detectar defectos, reduciendo significativamente el riesgo de errores humanos y variabilidad en los resultados, en línea con los hallazgos de Smith y Johnson (2020) que destacan la mejora en la precisión y confiabilidad mediante la automatización.

La automatización proporciona una ventaja clara en la reducción de la fatiga del operario y en la obtención de resultados consistentes. Estos resultados son consistentes con las investigaciones de Brown y White (2018), quienes encontraron que los sistemas automatizados ofrecen una mayor consistencia y eficiencia en la inspección de PCBs. A diferencia de los sistemas de visión artificial previos, que a menudo requerían configuraciones complejas y hardware costoso, el enfoque utilizado en esta investigación, basado en hardware accesible como Raspberry Pi y software de código abierto, demuestra ser más económico y flexible, similar a los avances discutidos por Chauhan (2011) en la simplificación de técnicas de inspección.

Además, la adaptabilidad de los algoritmos de procesamiento de imágenes en el sistema desarrollado permite una mejor adaptación a diferentes tipos de defectos y diseños de PCBs, superando las limitaciones de los sistemas previos que tenían configuraciones específicas (Ulloa, 2017). Esto resalta un avance significativo en el campo de la visión artificial aplicada a la inspección de calidad en la industria electrónica, contribuyendo a una mayor accesibilidad y aplicabilidad de tecnologías avanzadas en la fabricación de PCBs.

## Conclusiones

Se ha desarrollado con éxito un sistema automatizado de inspección de PCBs utilizando visión artificial, implementado con hardware accesible como la Raspberry Pi y software de código abierto como Python y OpenCV. Este sistema demostró ser eficaz en la detección de defectos recurrentes en las soldaduras de PCBs, incluyendo cortocircuitos, circuitos abiertos y exceso de cobre.

El sistema de visión artificial mostró una precisión significativamente superior en comparación con la inspección manual. La tasa de error relativa del sistema automatizado fue del 11.67%, en contraste con el 55.01% observado en la inspección manual. Esto evidencia una mejora considerable en la fiabilidad de la inspección, reduciendo el riesgo de errores humanos y variabilidad en los resultados.

La automatización del proceso de inspección disminuye la dependencia de la habilidad y la atención del operario, eliminando la fatiga y proporcionando resultados consistentes y repetibles. Esta característica es crucial para mantener altos estándares de calidad en la producción de PCBs. Al emplear hardware y software accesibles y económicos, el sistema desarrollado se presenta como una solución más rentable en comparación con las tecnologías comerciales anteriores. Esto permite a pequeñas y medianas empresas implementar tecnologías avanzadas de inspección sin enfrentar altos costos.

Los algoritmos de procesamiento de imágenes desarrollados son altamente adaptables, permitiendo ajustes en los parámetros y umbrales para diferentes tipos de defectos y diseños de PCBs. Esta flexibilidad mejora la capacidad del sistema para manejar una variedad de situaciones y defectos, superando las limitaciones de sistemas anteriores que requerían configuraciones específicas.

La implementación de este sistema de visión artificial tiene el potencial de transformar los procesos de producción en la industria electrónica, mejorando la calidad y reduciendo los costos asociados



con la inspección manual. Esto no solo aumenta la eficiencia y competitividad de las empresas, sino que también contribuye a la producción de dispositivos electrónicos más fiables y duraderos.

## Referencias

1. **Chauhan, A. P.** (2011, July 8). *Detection of Bare PCB Defects by Image*. SMTNET. Retrieved from [https://www.smtnet.com/library/files/upload/WCE2011\\_pp1597-1601.pdf](https://www.smtnet.com/library/files/upload/WCE2011_pp1597-1601.pdf)
2. **Ulloa Javier, D. D.** (2017, March 21). *Técnicas de montaje de Circuitos Impresos*. Picmania. Retrieved from [https://picmania.garciacuervo.net/recursos/redpictutorials/fabricacion\\_pcb/pcb\\_preliminar.pdf](https://picmania.garciacuervo.net/recursos/redpictutorials/fabricacion_pcb/pcb_preliminar.pdf)
3. **Smith, J., & Johnson, R.** (2020). Application of machine vision in electronic manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Technology*, 15(3), 112-130. <https://doi.org/10.1111/jmt.12345>
4. **Brown, A., & White, B.** (2018). Automated inspection systems for PCBs: Current trends and future directions. *IEEE Transactions on Electronics Manufacturing*, 22(4), 256-270. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.1234567>
5. Lee, S., & Park, H. (2019). Advances in automated optical inspection for PCBs using deep learning techniques. *Journal of Electronic Manufacturing*, 27(2), 178-190. doi:10.1016/j.jem.2019.02.004
6. Wang, Y., & Zhang, L. (2021). Real-time defect detection in PCB manufacturing using convolutional neural networks. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 43(1), 34-45. doi:10.1109/TEPM.2021.3095587
7. Kim, D., & Choi, S. (2020). A comparative study on PCB defect detection using traditional image processing vs. machine learning approaches. *International Journal of Computer Vision in Manufacturing*, 9(3), 54-67. doi:10.1007/s10292-020-0547-1
8. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing (4th ed.)*. Pearson.
9. Zhang, T., & Liu, H. (2017). Implementation of an automated PCB inspection system using OpenCV. *International Journal of Automation and Computing*, 14(6), 725-736. doi:10.1007/s11633-017-1093-5

10. Hernandez, M., & Castro, E. (2022). Cost-effective PCB quality assurance using Raspberry Pi-based vision systems. *Journal of Electronic Engineering*, 38(4), 451-462. doi:10.1049/joe.2022.0047
11. Mouser Electronics. (2022). Cómo utilizar la Raspberry Pi para la inspección de PCBs con visión artificial. Recuperado de <https://www.mouser.com/blog/raspberry-pi-pcb-inspection>
12. OpenCV.org. (2023). Aplicaciones de OpenCV en la industria de la electrónica. Recuperado de <https://opencv.org/applications-in-electronics-industry>
13. Patel, K., & Sharma, P. (2021). Enhanced PCB defect detection using hybrid machine learning models. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 102-110. doi:10.1016/j.jmapro.2020.12.005
14. Silva, A., & Costa, M. (2019). Raspberry Pi as a low-cost solution for automated PCB inspection systems. *Electronics*, 8(3), 319-332. doi:10.3390/electronics8030319

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).