

SISTEMA AUTOMÁTICO DE INSPECCIÓN DE COMPONENTES MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADORA

Iván César Palacios Aguayo

Universidad Panamericana

i-palacios1@sensata.com

Ramiro Velázquez Guerrero

Universidad Panamericana

rvelazquez@up.edu.mx

Resumen

En este artículo se presenta el diseño, implementación y evaluación de un sistema de inspección de interruptores eléctricos basado en técnicas de visión por computadora. El sistema comprende dos elementos principales: una plataforma giratoria y un módulo de adquisición de imágenes digitales. El movimiento rotativo de alta precisión de la plataforma permite que dos cámaras RGB obtengan imágenes de las distintas caras de la pieza. Algoritmos morfológicos y de segmentación se aplican a las imágenes para buscar en tiempo real un sinnúmero de defectos en los interruptores. La evaluación del prototipo muestra una tasa de detección de defectos del 100% en las piezas analizadas lo que demuestra su eficiencia y pertinencia para mejorar las inspecciones visuales dentro de los procesos de manufactura de una empresa del ramo de sensores electrónicos.

Palabras Claves: Detección de defectos, inspección automática, interruptores eléctricos, procesamiento digital de imágenes, visión por computadora.

Abstract

This paper presents the design, development, and experimental evaluation of an automatic inspection system for circuit breakers based on computer vision. The system basically consists of a turntable where circuit breakers are placed. Its

rotating motion allows two high-resolution RGB cameras to obtain images of the different sides of the pieces. Morphological and segmentation algorithms are then applied to the images to detect in real-time flaws in the circuit breakers. An experimental evaluation of the prototype system shows a 100% detection rate which demonstrates its efficiency and pertinence to improve the visual inspections procedures inside the manufacturing processes of a company devoted to electronic sensors.

Keywords: *Automatic inspection, circuit breakers, computer vision, digital image processing, fault detection.*

1. Introducción

Los sistemas de visión por computadora han sido ampliamente utilizados en diferentes sectores como la industria [Batchelor, 2002], la biología y microscopía [Uchida, 2013], medicina [Jan, 2005], sistemas de reconocimiento de personas [Huang, 2017], control de tráfico [Choudekar, 2011], sistemas de inspección y transporte [Saldaña, 2013], incluso existen aplicaciones en el deporte [Dubois, 2012], parques temáticos [Mine, 2012], vehículos autónomos o robots [Martinez, 2008] y ayuda a personas con alguna discapacidad física [Pissaloux, 2010].

Las actividades industriales en las que se utilizan principalmente dichos sistemas son en el control de calidad, en la rastreabilidad de productos durante el proceso y en la medición de alta precisión [Torras, 2002].

Dentro del control de calidad, es innegable que cualquier proceso de manufactura presenta la posibilidad de generar defectos en sus productos por lo cual se establecen generalmente una o varias inspecciones a lo largo del proceso.

La inspección visual da certidumbre tanto al fabricante como al consumidor de que alguien verificó el producto antes de que éste fuera empacado y embarcado. Incluso algunos fabricantes incluyen en sus productos un sello o leyenda con el nombre o clave de la persona que inspeccionó el producto.

Pese a la popularidad de la inspección visual, es incorrecto asumir que ésta garantiza la detección de todos los defectos de un producto: las inspecciones son realizadas por personas donde cada una tiene habilidades y conocimientos

diferentes, por lo que un defecto determinado puede ser aceptable para una persona, pero para otra no. Estas diferencias en los criterios de inspección hacen que las personas tomen juicios y decisiones diferentes respecto al producto inspeccionado.

Una manera muy común de compensar y tratar de que todos los inspectores tomen la misma decisión respecto a un producto es mediante la capacitación y las ayudas visuales. En éstas, se les entrena esencialmente a comparar lo que ven contra un producto de referencia considerando a la vez límites de aceptación (por ejemplo, el número máximo de rayones permitidos, el número máximo de burbujas visibles en una resina, etc).

La capacitación sigue sin garantizar una inspección infalible:

- los inspectores son susceptibles de cambiar, incluso inconscientemente, los criterios de inspección haciéndolos más suaves o más estrictos. Por lo general cuando existe presión por terminar con prontitud, se presenta un ablandamiento de criterios (por ejemplo, producir más piezas, la cercanía del cierre de turno, la cercanía del horario de comedor, etc.) Por el contrario, cuando la presión se da hacia la calidad, los criterios tienden a endurecerse (por ejemplo, cuando existe alguna llamada de atención al inspector).
- Los criterios de inspección sufren actualizaciones continuas ya que se tienden a agregar características nuevas y por ende puntos de inspección nuevos. En la inspección cotidiana, el inspector debe buscar, encontrar y emitir un juicio de varias características simultáneamente bajo la limitante del tiempo, lo que incrementa la posibilidad de que una pieza defectuosa escape al proceso.
- La fatiga y ceguera de taller. Después de varias horas de estar inspeccionando el mismo producto, el cerebro humano deja de notar diferencias y entra en un ciclo donde solo ve los cambios más significativos, por ejemplo, los cambios de pieza.
- El número de productos diferentes a inspeccionar. Cuando en una línea de producción se tiene una cantidad reducida de productos diferentes, a un

inspector entrenado no le será difícil recordar las diferencias a las que hay que poner atención entre los diferentes productos. Sin embargo, cuando se tienen decenas de productos entre los cuales existen pequeñas diferencias entre cada uno, se vuelve todo un reto para los inspectores el poder diferenciar las piezas defectuosas de las aceptables.

La inspección visual y sus limitantes generan un problema de costos para la empresa. En un momento dado se podría estar re-trabajando el producto con el riesgo de dejar escapar una característica inaceptable.

Este trabajo aborda el diseño y desarrollo de un sistema de visión por computadora para la industria de sensores electrónicos que garantiza una alta eficiencia en la inspección de partes y que minimiza los problemas de inspección visual humana antes mencionados. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 (Métodos) presenta el diseño, principio de operación y el prototipo desarrollado. La Sección 3 (Resultados) evalúa el desempeño del sistema en línea de producción. La Sección 4 (Discusión) argumenta los resultados obtenidos. Finalmente, la Sección 5 (Conclusiones) resume los conceptos principales y las líneas de trabajo futuro.

2. Métodos

En esta investigación se interviene un área de manufactura de una empresa dedicada al ramo de los sensores electrónicos donde se encuentra la problemática de una gran cantidad de defectos en interruptores eléctricos.

Los interruptores de corriente Airpax [Airpax, 2017] son en su mayoría del mismo color (negro), con dimensiones iguales o muy similares entre sí. El principal diferenciador es la corriente nominal a la que operan (diferencia que se hace notar en la etiqueta del producto). Otras diferencias importantes son el tipo y color de la palanca, tipo de terminales, número de polos y si cuentan o no con un interruptor auxiliar, figura 1.

Este producto cuenta con varias inspecciones visuales en diferentes puntos del proceso. Sin embargo, la más importante es la última, en ésta se verifican todas

las características externas así como la etiqueta del producto contra la orden de producción. Es todo un reto lograr una inspección detallada al 100% de cada punto en el 100% de las piezas.



Figura 1 Diferentes interruptores de corriente Airpax®.

Dentro de algunos de los puntos a verificar en estos interruptores se incluyen fracturas en las carcasas, plásticos envolventes, fracturas en las palancas, color de la palanca, golpes en terminales, terminales correctas (existen diferentes tipos según la corriente), tornillería (ya sea que la lleve o no según el requerimiento), si lleva tornillería que esté completa (es decir que no le falte o sobren tuercas y/o rondanas y/o tornillos), que tenga presente los insertos, la orientación del interruptor auxiliar, etc.

Dada la complejidad del producto, en la práctica la inspección se realiza usando un método de comparación. En este método los inspectores reúnen un grupo de interruptores, los colocan en línea y comienzan a buscar diferencias entre los mismos, los giran por cada una de las caras hasta revisarlas todas, se revisan las etiquetas y con más detalle el número de parte.

La empresa reporta una situación compleja: los principales reclamos de clientes internos y externos en los últimos 3 años han sido por ensambles incorrectos y faltantes de componentes; estos recaen en las pequeñas diferencias que tienen los productos entre sí o en el olvido de colocar algún componente.

Tomando en cuenta que los defectos se pueden presentar en cinco de las seis caras del interruptor, se partió del concepto mostrado en la figura 2 para diseñar un sistema automático de inspección. En este concepto, el interruptor se coloca sobre una plataforma rotativa (nido) que muestra las cuatro caras laterales a una

cámara de video. De igual forma, la cara superior puede ser analizada con una segunda cámara de video. Las características de la cara inferior no son relevantes para la inspección pues no presenta ningún componente.

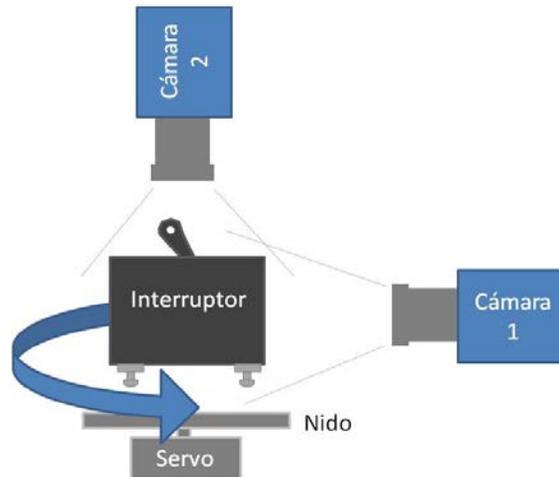


Figura 2 Diseño conceptual de sistema de inspección.

Con el fin de validar este concepto, se implementó un primer prototipo utilizando un motor DC y una cámara de resolución 640 x 480 figura 3a. De este primer prototipo se concluyó:

- La necesidad de utilizar un servomotor. Los giros del nido deben ser precisos pues las imágenes deben ser tomadas en el ángulo exacto para que se muestre la cara adecuadamente a la cámara.
- La distancia entre la cámara y el interruptor debe ser calibrada para obtener imágenes de calidad bien enfocadas.
- La necesidad de tener una iluminación constante.

Un segundo prototipo fue implementado tomando en cuenta los puntos anteriores figura 3b. Todos los componentes están montados en una caseta de inspección de 70 cm de largo x 50 cm de ancho x 50 cm de alto.

Esta caseta es de color blanco para resaltar las características importantes de los interruptores a inspeccionar en las imágenes. La estructura comprende soportes para fijar las cámaras y la fuente de iluminación. Como fuente de iluminación se

utilizó una barra de leds que enciende al momento de adquirir las imágenes. La resolución de las cámaras se mejoró a 1200 x 900 píxeles y la distancia al objetivo fue calibrada experimentalmente. Una computadora fue colocada en la parte inferior de la caseta para recibir, almacenar y procesar las imágenes digitales. De igual forma se optó por utilizar una pantalla tipo “touch monitor” para facilitar la interfaz con el operador.

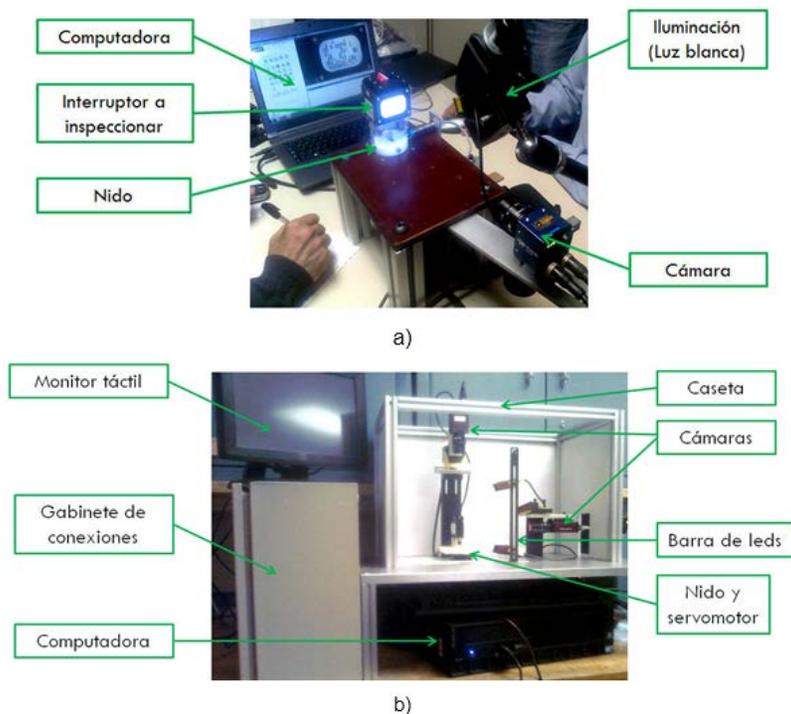


Figura 3 Primer prototipo (validación del concepto) y segundo prototipo mejorado.

El software utilizado para el control del segundo prototipo fue LabView 2012 (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) [LabView, 2012]. En esta plataforma se diseñaron tanto la interfaz de usuario como el programa que controla el movimiento del nido, la captura de imágenes por las cámaras y el procesamiento de las imágenes.

En particular, el procesamiento de imágenes involucra la detección de 11 puntos clave en los interruptores:

1. Remaches cara frontal
2. Remaches cara posterior

3. Arcos disipadores
4. Tipo de terminal (tornillería)
5. Tipo de terminal
6. Etiqueta UR o UL
7. Numero de parte
8. Etiqueta SIDE
9. Etiqueta VFE
10. Insertos para montaje
11. Etiqueta "Made in Mexico"

A continuación, se ejemplifican los puntos 1, 3 y 7:

- *Remaches cara frontal:* Una vez obtenida la imagen original figura 4a, se aplica el operador morfológico de dilatación para eliminar el texto de la etiqueta figura 4b. Posteriormente se mejora el contraste de la imagen para resaltar los remaches figura 4c y se procede a la binarización de la imagen (operación propia de la segmentación) figura 4d. Finalmente se utiliza la función *shape detection* de LabView para identificar formas figura 4(e). Esta función regresa los valores de los diámetros y las posiciones de las formas detectadas las cuales se comparan con los valores esperados para finalmente determinar si la pieza es aceptada o rechazada. El proceso para los remaches de la cara posterior es idéntico.

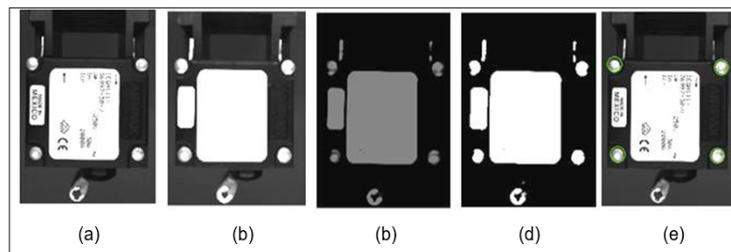


Figura 4 Proceso de detección de remaches en la cara frontal de los interruptores.

- *Arcos disipadores:* Esta inspección inicia con un mejoramiento del contraste de la imagen figura 5b, posteriormente se aplica el operador morfológico de dilatación para eliminar el ruido en la imagen figura 5c y finalmente se

convierte la imagen a binaria figura 5d. Se prosigue aplicando la función para detección de formas (*shape detection*) figura 5e, la cual se configura para buscar elipses que representan cada uno de los arcos. Se seleccionó esta opción debido a que las sombras sobre los arcos los asemejan a elipses. Con esta función se pueden obtener las coordenadas de las elipses las cuales se evalúan y cuantifican para determinar si se cumple con el valor esperado de polos y arcos disipadores requeridos figura 5f.

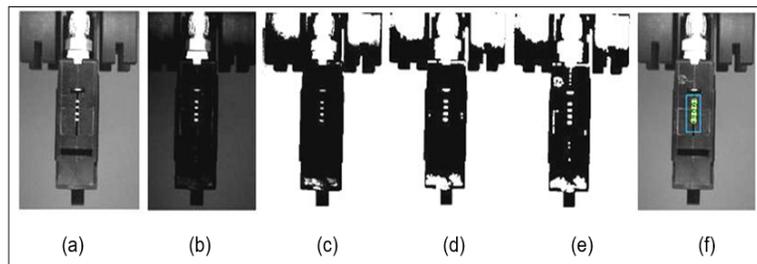


Figura 5 Proceso de detección de arcos disipadores en los interruptores.

- *Número de parte*: El primer paso en la identificación del número de parte es convertir la imagen a alto contraste con una ecualización de histograma de tal manera que se logren caracteres negros sobre fondo blanco sin ruido y/o tonos de grises figura 6b. Posteriormente la imagen se gira 90° de tal forma que el texto quede en la orientación habitual de lectura figura 6c. Los límites de la etiqueta se identifican como bordes y se define un área de interés (ROI) para determinar la ubicación de los caracteres que definen el número de parte figura 6d.

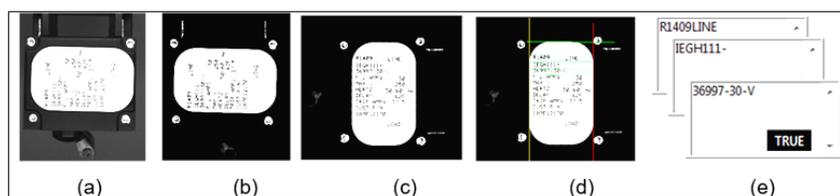


Figura 6 Proceso de detección de número de parte en los interruptores.

El último paso consiste en identificar los caracteres usando la función *OCR Read Text* de LabView. Las cadenas de texto encontradas se concatenan y se comparan contra el número de parte deseado figura 6(e).

3. Resultados

En esta sección se presenta el desempeño del sistema. Se muestran los resultados iniciando por las validaciones del equipo fuera de línea de producción usando piezas con defectos conocidos y posteriormente resultados preliminares de desempeño una vez puesto éste en línea de producción.

Para la validación del sistema fuera de línea se estudiaron 3 parámetros:

- *Repetitividad y reproducibilidad por atributos:* Para determinar la repetitividad y reproducibilidad del equipo se seleccionaron 100 piezas de las cuales se identificaron 88 muestras aceptables en todas sus características y 12 muestras defectuosas en alguna característica a inspeccionar.

El análisis consistió de 3 corridas en orden aleatorio. El software *Minitab* [Minitab, 2017] fue utilizado para el análisis estadístico. El análisis de las corridas permite apreciar las características calificadas como aceptables, figura 7a y las no aceptables, figura 7b por estar debajo del 95%.

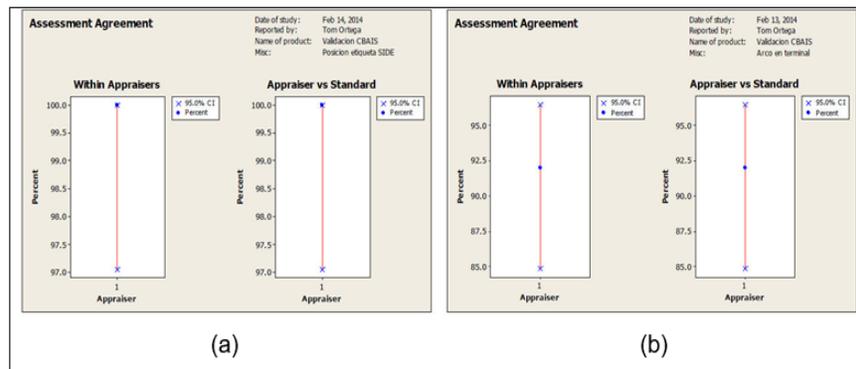


Figura 7 Resultados del análisis estadístico de 100 muestras inspeccionadas con sistema.

Un segundo estudio de validación se ejecutó con *Minitab* para evaluar el resultado de la inspección en su conjunto. Para ello se integraron 2 corridas de 16 muestras de 50 piezas, cada una con 6 piezas defectuosas. El análisis estadístico de los resultados indica tres características por debajo del mínimo aceptable figura 8, se observan tres características no aceptables (<95%).

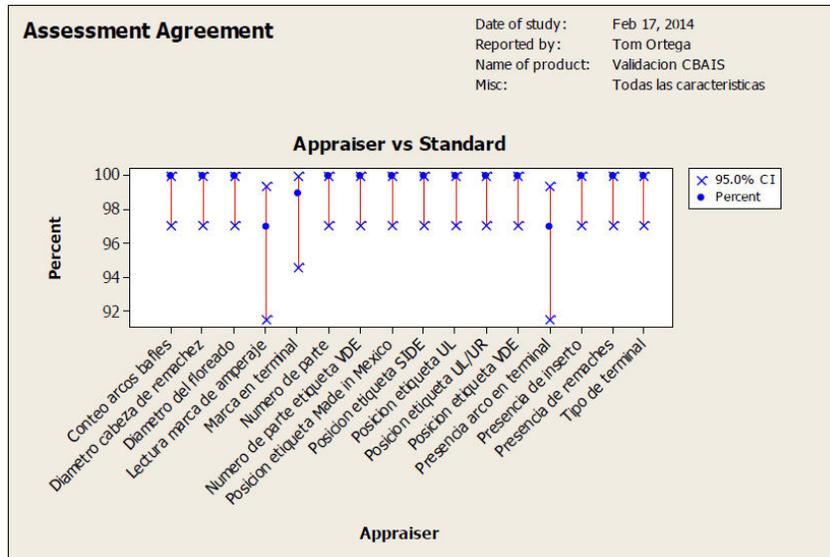


Figura 8 Resultados análisis estadístico de 2600 muestras inspeccionadas con sistema.

- *Repetitividad y reproducibilidad de inspección por el operador:* para obtener una idea del impacto real del sistema en comparación con la inspección tradicional se realizó un estudio similar con 13 inspectores en los 3 turnos de producción. En éste se usaron 50 piezas dentro de las cuales 12 presentaban defectos.

Cada operador inspeccionó el lote en 3 ocasiones, en orden aleatorio y en diferente día, los resultados indican un desempeño muy por debajo comparado con el equipo automático (figura 9).

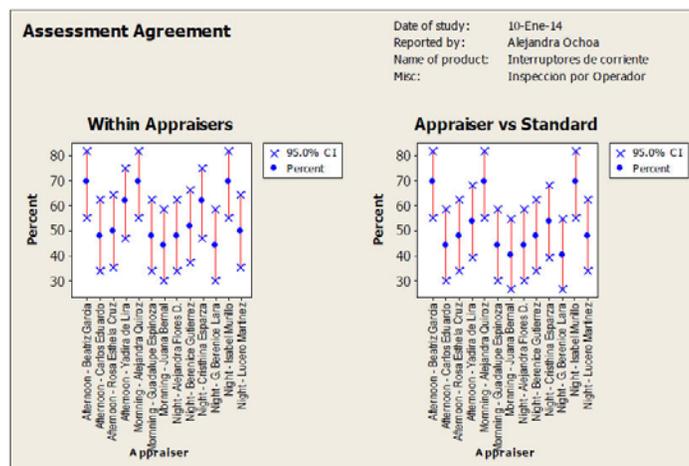


Figura 9 Análisis estadístico de 50 muestras inspeccionadas 3 veces por 13 inspectores.

- *Tiempo ciclo promedio del equipo:* Para determinar la velocidad del equipo se tomaron 5 lecturas del tiempo de inspección de cada muestra. El resultado arroja un tiempo aceptable: 14.6 segundos de promedio con un mínimo de 12.0 y máximo de 16.4, mientras el tiempo ciclo de la línea de manufactura es de 35 segundos por pieza, el tiempo de procesamiento quedó inmerso en el tiempo de rotación de la pieza frente a las cámaras; el resultado final figura 10 puede considerarse como aceptable.

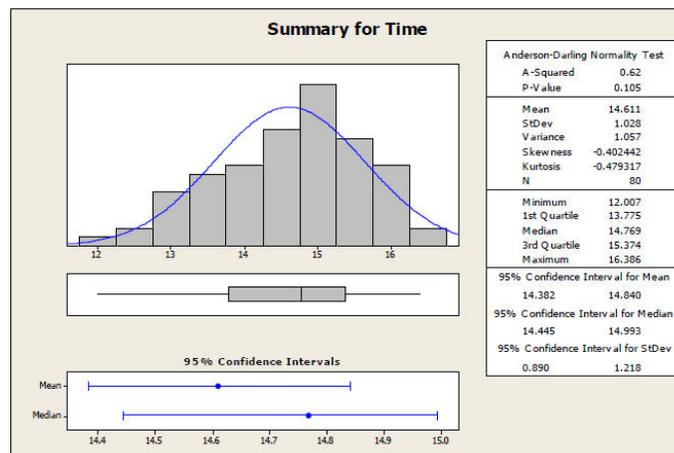


Figura 10 Tiempo promedio de inspección con el sistema propuesto.

- *Primeros resultados del equipo en línea de producción:* Durante los primeros 2 meses del equipo funcionando en línea de producción se logró detectar con éxito defectos en las características inspeccionadas automáticamente, logrando contabilizar 7,564 piezas inspeccionadas, de las cuales se rechazaron 279 piezas. De estas últimas se determinó que 203 (el 73%) fueron falsos rechazos, es decir que las piezas presentaban algún defecto cosmético razonablemente aceptable pero que efectivamente difiere de la muestra ideal.

4. Discusión

Los resultados obtenidos con *Minitab* muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la detección de piezas aceptables y las no aceptables por el prototipo desarrollado. Esto es, se tiene gran probabilidad de

que cuando una pieza sea etiquetada como inaceptable es porque sus características realmente difieren de las de la muestra ideal (figura 7).

Estos resultados pueden organizarse por categorías y condensarse en un solo gráfico donde se aprecie el diagnóstico de cada una de las características inspeccionadas. Este reporte es sin duda de gran valía para detectar las características estadísticamente diferentes y que representan los puntos de atención y mejora (figura 8). Las diferencias de desempeño entre el equipo propuesto y la inspección visual son evidentes y estadísticamente significativas (figura 9). La inspección visual humana depende de la apreciación personal.

El tiempo de inspección es constante. Esto es, la inspección de una o varias características en un lote de piezas será el mismo (figura 10).

5. Conclusiones

Este artículo ha presentado el diseño, desarrollo y puesta en marcha de un sistema de inspección mediante visión por computadora destinado a utilizarse en la manufactura de interruptores de corriente.

Durante este desarrollo se construyó un prototipo contando con una plataforma giratoria, 2 cámaras digitales, una lámpara de Leds rojos y un control desarrollado en el software LabView.

Este prototipo tiene la característica de adaptabilidad, ya que pueden agregarse inspecciones adicionales y /o configurarse para otras partes.

La parte medular del proyecto fue el desarrollo del software, donde el equipo se enfrentó a variables numerosas que ponían a prueba las rutinas de inspección, y donde éstas tuvieron que ser mejoradas para mantener la efectividad al máximo.

Los resultados fueron muy satisfactorios debido a la alta capacidad del sistema de inspección para segregar defectos, sin embargo, sólo para aquellas características contempladas. El sistema de inspección tiene un gran potencial, aunque requiere de una inversión de tiempo para desarrollar las secuencias de inspección faltantes para dar máxima funcionalidad en el área de interruptores de corriente.

Las áreas de oportunidad y mejora de este proyecto se pueden resumir en 3 aspectos:

- *Mejora del sistema de iluminación.* Debido a la gran cantidad de características es importante considerar el agregar lámparas al sistema de iluminación, debido a que durante el desarrollo algunas zonas mostraban sombras o no se lograba un alto contraste de la característica a evaluar.
- *Desarrollar una herramienta de software para la calibración del sistema.* Un código que asegure que el foco y la posición de las cámaras puedan ser instalados en diferentes máquinas para usar las mismas rutinas de inspección. En este mismo apartado se puede añadir una secuencia de verificación al inicio, para evitar baja eficiencia de la inspección automática.
- *Un Consultor.* Involucrar al menos a un especialista como consultor, de manera que el estilo de programación sea de fácil comprensión a quienes darán mantenimiento, además de no usar algoritmos en forma repetitiva que consuman los recursos del sistema. Dentro de este aspecto, se requiere también mejorar las habilidades del equipo de trabajo en la comprensión y uso de los filtros digitales.

Se contempla dentro de las prioridades del presente año el expandir el uso de sistemas de visión automáticos en la empresa donde se implementó el desarrollo, tanto para producto terminado, como para producto en proceso y para la medición de características en forma digital. El desarrollo expuesto en este artículo será la base para los nuevos sistemas a desarrollar e implementar.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] AIRPAX Circuit Breakers, Información actualizada disponible en: <http://airpax.sensata.com/> (último acceso junio 2017).
- [2] Batchelor, B. G & Whelan, P. F. Intelligent Vision Systems for Industry, Springer, 2002.
- [3] Dubois, R., Thiel, D. & James, D. Using Image Processing for Biomechanics Measures in Swimming, Procedia Engineering, 34, pp. 807-812, 2012.
- [4] Huang, W. & Yin, H. Robust Face Recognition with Structural Binary Gradient Patterns, Pattern Recognition, 68, pp. 126-140, 2017.

- [5] Choudekar, P., Banerjee, S., & Muju, M. Implementation of Image Processing in Real Time Traffic Light Control, Proc. of 3rd International Conference on Electronics Computer Technology, pp. 94-98, 2011.
- [6] Jan, J. Medical Image Processing, Reconstruction and Restoration: Concepts and Methods, CRC Press, 2005.
- [7] LabVIEW 2012- National Instruments, Información actualizada disponible en: <http://www.ni.com/es-mx/shop/labview.html> (último acceso junio 2017).
- [8] Martínez, J.S., Morán, G., Romero, B., Camacho, A., Gutheim, D., Varona J. & Velázquez, R., Multifunction All-Terrain Mobile Robot IVWAN: Design and First Prototype, 2nd Israeli Conference on Robotics, 2008.
- [9] Mine, M. R, van Baar, J., Grundhofer, A., Rose, D. & Yang, B. Projection-Based Augmented Reality in Disney Theme Parks, *Computer*, 45(7), pp. 32-40, 2012.
- [10] Minitab Statistical Software, Información actualizada disponible en: <https://www.minitab.com> (último acceso junio 2017).
- [11] Pissaloux, E., Chen, Y., Velázquez, R. Image Matching Optimization via Vision and Inertial Data Fusion: Application to Navigation of the Visually Impaired, *International Journal of Image and Graphics*, 10(4), pp. 545-555, 2010.
- [12] Saldaña, E., Siche R., Lujan, M. & Quevedo, R. Review: Computer Vision Applied to the Inspection and Quality Control of Fruits and Vegetables, *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(4), pp 254-272, 2013.
- [13] Torras, C. *Computer Vision: Theory and Industrial Applications*, Springer, 2002.
- [14] Uchida, S. Image Processing and Recognition for Biological Images, *Development, Growth & Differentiation*, 55(4), 523–549, 2013.