

Desarrollo de un sistema de visión artificial para detección de abolladuras en latas de atún, Trujillo**Development of an artificial vision system for the detection of dents in tuna cans, Trujillo****Desenvolvimento de um sistema de visão artificial para detectar amassados em latas de atum, Trujillo**

Burgos Zavaleta, Pablo A.¹, Ulloa Baquedano José F.², Aguilar Acevedo Jhajaira ³, Robles Malqui Alberto R.⁴, Julián Suarez Christian M.⁵

Resumen

En el presente trabajo se presenta la implementación de un sistema de visión artificial para la detección de abolladuras e imperfecciones en latas no selladas y sin contenido que se presentan o pueden presentar en latas de conserva de pescado, al ser manipuladas y transportadas sufren golpes que comprometan su estructura y afecten su presentación. El objetivo principal es la elaboración de un algoritmo que permita detectar de forma eficiente fallas en los bordes y la estructura general de una lata de atún de aluminios sin producto y sin sellado y los objetivos específicos son: determinar las técnicas apropiadas para la detección de bordes defectuosos mediante la aplicación de un lenguaje de programación simple y establecer las características y secuencia del proceso lógico para seguir al momento de iniciar la detección, se realizaron 5 ensayos con 10 pruebas cada uno, en donde se ingresaron 10 latas de atún y se simuló mediante un editor de código Python, con el cual se realizaría el funcionamiento de la máquina y las pruebas para medir la eficiencia. Finalmente, se concluyó que, el porcentaje de eficiencia fue de 90.4%, siendo este muy beneficioso para una empresa en su área de producción y calidad.

Palabras claves: Python, Gauss, Visión Artificial, Latas de conserva de pescado, Detección de bordes.

Abstract

In this work, the implementation of an artificial vision system is presented for the detection of dents and imperfections in unsealed cans without content that are presented or may be presented in canned fish, when handled and transported they suffer knocks that compromise its structure and affect its presentation. The main objective is the development of an algorithm that allows efficiently detecting flaws in the edges and the general structure of an aluminum tuna can without product and without sealing and the specific objectives are: to determine the appropriate techniques for the detection of edges defective by applying a simple programming language and establishing the characteristics and sequence of the logical process to follow at the time of starting the detection, 5 trials were carried out with 10 tests each, where 10 cans of tuna were entered and it was simulated using a Python code editor, with which the operation of the machine and tests to measure efficiency would be carried out. Finally, it was concluded that the efficiency percentage was 90.4%, this being very beneficial for a company in its production and quality area.

Keywords: Python, Gauss, Computer Vision, Canned Fish, Edge Detection.

Resumo

Neste trabalho é apresentada a implementação de um sistema de visão artificial para detecção de amassados e imperfeições em latas não lacradas e sem conteúdo que se apresentam ou possam estar presentes em conservas de pescado, que quando manuseadas e transportadas sofrem pancadas que comprometem sua estrutura e afetam sua

¹ Escuela de Ingeniería Industrial. Magister. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. pburgos@unitru.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-0627-4630>

² Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00193267@upn.pe
<https://orcid.org/0009-0001-5570-852X>

³ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00041304@upn.pe
<https://orcid.org/0009-0005-5789-2518>

⁴ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00193661@upn.pe
<https://orcid.org/0009-0007-3311-1347>

⁵ Escuela de Ingeniería Industrial. Estudiante. Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú. N00203787@upn.pe
<https://orcid.org/0009-0003-4635-2829>

apresentação. O objetivo principal é o desenvolvimento de um algoritmo que permita detectar eficientemente falhas nos bordos e na estrutura geral de uma lata de atum de alumínio sem produto e sem selagem e os objetivos específicos são: determinar as técnicas adequadas para a detecção de bordos defeituosos através da aplicação de uma linguagem de programação simples e estabelecendo as características e sequência do processo lógico a seguir no momento do início da detecção, foram realizadas 5 tentativas com 10 testes cada, onde foram inseridas 10 latas de atum e foi simulado usando um editor de código Python, com o qual seria realizado o funcionamento da máquina e testes para medir a eficiência. Por fim, concluiu-se que o percentual de eficiência foi de 90,4%, sendo isso muito benéfico para uma empresa na sua área de produção e qualidade.

Palavras-chave: Python, Gauss, Visão Computacional, Conservas de Peixe, Detecção de Bordas.

Introducción

Actualmente, se tiene la idea de que la calidad dentro de un producto debe ser involucrada en cada una de las etapas del proceso productivo y/o elaboración del mismo, esto responde a la necesidad de evitar fallas importantes en las etapas finales cuando el producto puede considerarse ya terminado, sin embargo es inevitable que un producto terminado llegue a presentar defectos afectando los parámetros establecidos para la obtención de un óptimo resultado, tal como es el caso de las latas de atún, siendo que la inadecuada construcción y consistencia de las características herméticas de las mismas puede involucrar no solo elementos perjudiciales para la empresa, pues, a tratarse de un producto de consumo humano debe mantenerse las características de inocuidad en el índice más alto posible, de no ser así y en consecuencia la empresa estaría bajo un enorme problema, ya que se considera algo extremadamente castigable el hecho de que una empresa llegue a atentar contra la salud de los consumidores. La detección de abolladuras en latas de atún es un problema importante en la industria alimentaria, ya que puede afectar tanto la calidad del producto como la seguridad del consumidor. Para abordar este problema, se han desarrollado varios sistemas de detección de abolladuras en latas de atún (Gonzales, 2012).

Para entender porque es necesario la implementación de un mecanismo computarizado en alimentos enlatados es porque las latas de acero son los únicos contenedores totalmente opacos y estancos de oxígeno, ofrecen una excelente protección contra la luz, los rayos UV, el oxígeno y la humedad en varios alimentos, se debe tener en cuenta además que el acero es higiénico, no tóxico y que conserva en la gran mayoría de casos el sabor del producto contenido (De La Cruz, 2014). Por eso es importante la formación de un sellado hermético ya que es esencial para preservar el producto siendo en este caso atún enlatado en agua o aceite, es inútil el trabajo realizado en preparar el producto, envasarlo y procesarlo a menos que tenga un doble cierre que garantice el cerrado hermético (Almendariz, 2008). Debido a la aparición de un mercado cada vez más globalizado las empresas dedicadas a la producción se han visto forzadas a desarrollar y desplegar técnicas de control de calidad que sean muy eficientes y que sustituyan a los métodos convencionales de control de calidad oficiados por operadores humanos incursionando en el uso de tecnología para el desarrollo de actividades de control de calidad y verificación de procesos productivos estandarizados (Icaza Paredes, 2019). Es debido a esto que uno de los sistemas más utilizados es el sistema de inspección por visión artificial. Este sistema utiliza cámaras de alta resolución para capturar imágenes de las latas de atún en tiempo real. Luego, las imágenes son procesadas por un software que analiza la forma y la textura de la lata para detectar cualquier abolladura (Gonzales Marco, 2006). El sistema de visión artificial es un sensor avanzado capaz de captar energía electromagnética escena y convertirla en una imagen que el procesador puede comparar con los estándares criterios predefinidos, este debe ser considerado como un elemento de protección frente a fallos proceso de producción y detectar anomalías antes de agregar valor al producto; en todo caso no pueden ser considerados como un sistema de mejora de la producción de forma directa porque no interfiere en el proceso productivo (García, 2012). El sistema en cuestión se trata de una arquitectura muy general que engloba todos los procesos y elementos que proporcionan ojos a una máquina; se puede decir que, describe la deducción automática de la estructura y propiedades en el mundo tridimensional (Artificial, 2012), las cámaras de visión artificial reflejan objetos ya que capturan la luz obteniendo información lumínica para analizar, la luz refleja es distinta para cualquier tipo de material que se necesite analizar como vidrio metal o cartón para esto se necesita un estudio personalizado de iluminación para obtener el mejor resultado (BcnVision, 2017). Además del sistema de inspección por visión artificial, también existen sistemas de detección de abolladuras basados en ultrasonidos y rayos X. Estos sistemas utilizan ondas

sonoras o radiación para penetrar en la lata y medir la profundidad y la ubicación de cualquier abolladura. Esos sistemas han sido utilizados para evaluar diferentes tipos de frutas como la guanábana detectando maduración deterioro, sin embargo estos resultan en ser mucho más complejos y difíciles de calibrar en comparación con un sistema de visión artificial que consta simplemente de parámetros ya existentes comparados con muestras nuevas que mantienen y debe cumplir características similares (Cardozo, Gallego y Valenzuela, 2009).

Para poder conseguir que todo esto funcione se necesita un lenguaje de programación como Python es un lienzo que permite reflejar de forma simple, las ideas en forma algorítmica; pues cuenta con facilidades para la programación orientada a objetos (Challenger-Pérez, 2014), por lo cual, el método de Gauss y Python opera sobre la matriz aumentada y pivoteada por filas, añadiendo el proceso de eliminación hacia adelante, mediante la operación entre filas y detecta los bordes usando el algoritmo de Canny Edge Detection (Vivas y Vivar, 2022). El mismo se trata de un algoritmo que está considerado como uno de los mejores métodos de detección de contornos, mediante el empleo de máscaras de convolución y basado en la primera derivada (Rebaza, 2007), Canny Edge es un operador que utiliza un algoritmo de múltiples etapas para detectar una amplia gama de bordes en imágenes. Lo más importante es que también incluye una teoría computacional acerca de la detección de bordes que explica por qué la técnica funciona (Canny, 1986). De tratarse de un sistema que requiera el autoaprendizaje para presentar características pseudoautónomas, se requiere que tenga la capacidad de utilizar la metodología deep learning, la construcción de este tipo de sistemas consta principalmente de la elaboración de una red neuronal, asimismo se requiere de una base de datos establecida y se plantea la detección mediante la construcción de un algoritmo con fallas comunes prestablecidas, se pretende que esta red funcione sin supervisión humana y que sea capaz de detectar con un alto grado de exactitud defectos en los contenedores a procesar, la aplicación de este sistema trabaja en conjunto con la metodología utilizada de IA en el área donde sea aplicada (Poblet, 2022). Es claro que una red neuronal artificial sí que es capaz de detectar anomalías con una precisión elevada sin ser supervisada por humanos. Además, a una velocidad bastante más elevada también se ha podido ver con perspectiva lo potente que puede llegar a ser la inteligencia artificial en distintas áreas de aplicación (Poblet, 2022). En este caso se usará la técnica transformada de Hough específicamente su variante de Hough Circles, ya que esta extrae características de una imagen procesada por la computadora para la detección de líneas en esta imagen, pero su variable Hough Circles detecta un conjunto de líneas que forman un círculo (Andrade, 2015).

Si bien es cierto las latas al ser comercialmente y de carácter estándar de materiales resistentes tales como el aluminio u otros similares, surge durante el manipuleo, transporte y acopio de las mismas que pueden verse afectadas por abolladuras e imperfecciones importantes, por lo que esta no se consideraría como una lata en las condiciones adecuadas para presentarla destinada para contener producto terminado, sin embargo cabe destacar que las latas que se evalúan en el presente trabajo corresponden a latas aun vacías pero destinadas para el envasado, siendo que estas deben tener condiciones óptimas en cuanto a estructura preliminar, por ello, el objetivo principal del presente proyecto es la elaboración de un algoritmo que permita detectar de forma eficiente fallas en los bordes y la estructura general de una lata de atún de aluminio, de la misma forma se plantea como objetivos específicos determinar las técnicas apropiadas para la detección de bordes defectuosos mediante la aplicación de un lenguaje de programación simple y establecer las características y secuencia del proceso lógico para seguir al momento de iniciar la detección.

Materiales y Métodos

La ejecución del presente proyecto necesitara tener una cuenta una determinada cantidad de materiales los cuales serán aplicados tanto en la recolección de datos como para la ejecución del proceso planteado como meta conjunta del proyecto, asimismo se involucran dentro de este apartado los elementos que serán involucrados en la obtención total de los resultados.

La herramienta fundamental en la toma de datos a considerarse en primer lugar es una que permita la detección inicial de las fallas, por lo cual es necesario adaptar una cámara para el sistema de visión artificial, para lo cual se utilizó una cámara óptica modelo TE-9070 de marca Teros, la cual puede funcionar a 60 FPS (de forma nativa) y tiene una resolución estándar de 1920 x 1080 trabajando entre

144p hasta 1080p pudiendo procesar todos los rangos de resoluciones intermedias, es compatible con un sistema de alimentación USB 2.0 y con un sensor CMOS ideal para captar imágenes nítidas con la cantidad de luz apropiada, esta será el medio que se utilizara para la toma de data que será analizada posteriormente.

La iluminación será proporcionada por luces led, las cuales serán el principal apoyo para las imágenes captadas y que estas tengan la nitidez requerida, centrando la luz únicamente en los puntos de interés de la imagen y en los detalles de interés para la inspección, la luz empleada tendrá una potencia de 15 voltios y equivalente a 500 lúmenes, será necesario también contar con una computadora como medio de almacenamiento de la información obtenida en las muestras para el posterior análisis y también fotos de latas de atún que serán analizadas por el sistema y clasificadas por sus características.

Para la secuencia de captación de imágenes se detalla en la (Figura 1).

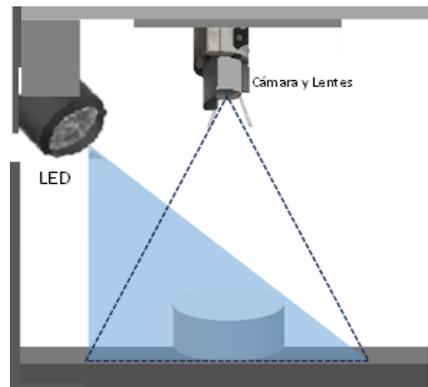


Figura 1. Obtención de imágenes

El algoritmo del proyecto se realizará bajo el lenguaje de programación Python importando los elementos de la librería Cv2, donde se establecerán las condiciones necesarias mediante una función que permitirá manipular el módulo de la Cámara que se usará en el sistema todo esto denominado dentro del código como un objeto Video capture.

De la misma forma para los propósitos de procesamiento se necesita transformar la imagen a una escala de grises, esto mismo facilitara la comprensión del conjunto de elementos visuales en la imagen para el procesador de cómputo, esto se logra con la importación de una función predefinida en Python y la librería Cv2 estableciendo todos los valores de la escala RGB a grises.

```
cam = cv2.VideoCapture(0)
```

De la misma forma para los propósitos de procesamiento se necesita transformar la imagen a una escala de grises, esto mismo facilitara la comprensión del conjunto de elementos visuales en la imagen para el procesador de cómputo, esto se logra con la importación de una función predefinida en Python y la librería Cv2 estableciendo todos los valores de la escala RGB a grises.

```
ret, img = cam.read()
```

Posteriormente la imagen será analizada por el algoritmo Canny basado en un núcleo Sobel este se aplicará a la imagen en cuestión de forma horizontal y vertical el cual se denomina (G_x y G_y) en la fórmula del sistema de bordes gradientes (Ecuación 1) de Canny Edge, este proceso será fundamental pues permitirá por la computación de una serie de elementos en la imagen la obtención de un borde preliminar existente y la dirección que presentan los pixeles en la imagen que se está trabajando, determinando de esta forma, un trazo preliminar de la dirección de los bordes en la imagen analizada.

$$\begin{aligned} \text{Edge Gradient } (G) &= \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \\ \text{Angle } (\theta) &= \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

Ecuación para el degradado

Donde:

G: Dirección

GX: Dirección horizontal.

GY: Dirección vertical.

Tan-1: Tangente.

La aplicación del algoritmo de bordes Canny permitirá también tener un contexto completo del carácter indicado como “edges” que se está trabajando, es decir se simplificarán todos los elementos gráficos a simples bordes de características regulares.

```
edges = cv2.Canny (gray_blurred, threshold1=30, threshold2=100
```

Una vez se tenga el proceso de la imagen anterior, la imagen se escanea nuevamente pues se eliminarán píxeles que no serán necesarios en el proceso o que puedan no ser parte del borde que se está analizando, cada píxel presente en la imagen será analizado y se verificara con el conjunto de estos que están circundantes correspondiente a la dirección que se ha determinado anteriormente la cual se denominara gradiente, esto mismo aplicara un adelgazamiento de los bordes, al eliminar los píxeles innecesarios en la imagen con el propósito de tener en la imagen únicamente aquellos elementos que sean de interés para poder continuar analizándolos (Figura 2).

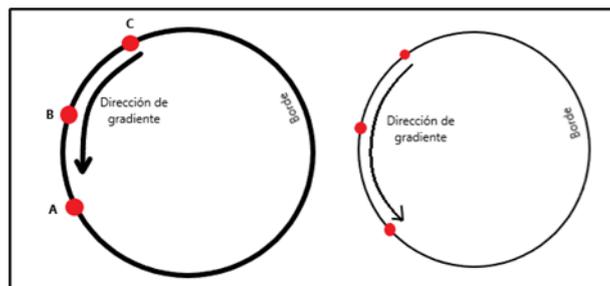


Figura 2. Transición de la imagen a bordes delgados

La existencia de círculos dentro de los parámetros establecidos para las condiciones del proyecto permite incluir dentro del código de funcionamiento ecuaciones simples (Ecuación 2) pero de carácter fundamental, pues basándose en la simplificación de los bordes obtenidos resulta en la obtención de un círculo muy sencillo, por lo cual mediante representaciones matemáticas podemos asumir que de tratarse de un círculo íntegramente completo, los bordes corresponden a esta forma, por lo mismo se aplica la ecuación de un círculo en el plano.

$$(x-x \text{ centro})^2+(y-y \text{ centro})^2=r^2 \text{ Donde } (x \text{ centro}, y \text{ centro}) \quad (2)$$

Representación matemática de un círculo.

Mediante la aplicación de funciones de la librería Cv2 para Python podemos obtener los parámetros necesarios para mediante un radio establecido construir un círculo en torno a los bordes detectados, es por ello que se establece que si los bordes respetan la estructura de un círculo, estarán no abollados, definiendo las estructura del código tendríamos una función específica para la detección de la integridad de la estructura de latas de forma circular en correspondencia con parámetros definidos alrededor de un radio base, de encontrar un borde que rompa con el patrón establecido automáticamente lo descartara, asumiendo que este se encuentra modificado, por lo tanto abollado.

```
detected_circles = cv2.HoughCircles(gray_blurred,  
cv2.HOUGH_GRADIENT, 1, 20, param1 = 50,  
param2 = 30, minRadius = 25, maxRadius = 50)
```

Se obtiene en resumen una imagen binaria con bordes delgados, para posteriormente aplicar en la detección los valores de umbral, min VAL y Max VAL. Cualquier borde con gradiente de intensidad superior a Max VAL será borde y por el caso contrario no será un borde por lo tanto será desechado,

como se observa en la Figura 3.

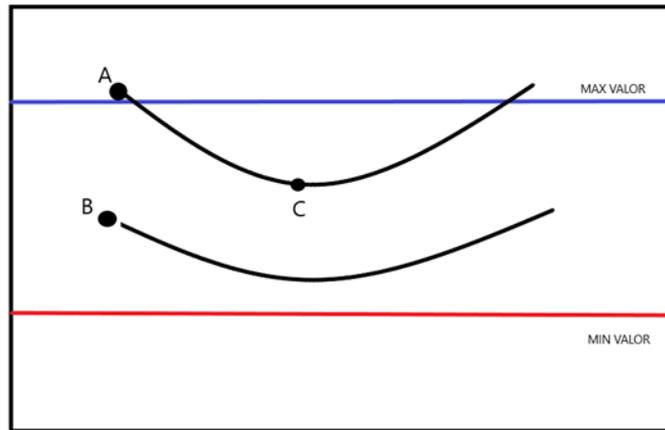


Figura 3. Diferenciación de bordes

Para la automatización de dicho proceso, es necesario realizar la programación de la data a través de Python, donde no solo estará la información de Canny, sino también, se incluye el método Gauss con el procedimiento de eliminación hacia delante (Ecuación 3) y situación hacia atrás (Ecuación 4).

$$A_K = A_K - A_i \frac{a_{k,i}}{a_{i,i}} \quad (3)$$

Fórmula de situación hacia adelante

$$x_i = \frac{b_i^{(i-1)} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}^{(i-1)} x_j}{a_{ii}^{(i-1)}} \quad (4)$$

Fórmula de situación hacia atrás

En la (Figura 4), se puede apreciar el funcionamiento del algoritmo que se usa en el programa Python para el procesamiento de imágenes paso a paso.



Figura 4. Funcionamiento del algoritmo.

Para llevar a cabo el funcionamiento del sistema, se emplea Python, en donde se explica el código de programación para la identificación de fallas, es decir, la calidad intacta del borde de la lata a analizar y a la vez se verifica la existencia de un borde con características establecidas definidas por los valores mínimos y máximos. En este caso, cada placa debe contar con un borde circular perfecto (Figura 5) de

ser caso contrario sería una pieza defectuosa (Figura 6), entonces podría decirse que si el valor de borde cumple los parámetros entonces la pieza es correcta y de ser el caso contrario será considerada una pieza incorrecta.



Figura 5. Pieza Correcta



Figura 6. Pieza defectuosa

Finalmente, en las siguientes imágenes se podrá mostrar paso a paso el uso práctico de las fórmulas y códigos mostrados anteriormente en las latas de atún.

Resultados

Para corroborar de forma correcta el funcionamiento del sistema de visión artificial, se realizaron diferentes pruebas, con el propósito de identificar la calidad del funcionamiento a un ritmo de trabajo similar al de la realidad, siendo que se ha realizado un determinado número de ensayos, mediante el cual se controlaron la cantidad de detecciones en contraste de la entrada de datos, con el objetivo de obtener un porcentaje de efectividad, la cantidad de ensayos que se aplicaron fueron en total 5 con una determinada cantidad de elementos ingresados en cada uno, se establecieron los caracteres para determinar la eficiencia en porcentaje del sistema de visión artificial y de la misma forma los valores a tomar en cuenta serán las latas ingresadas, el total de latas abolladas detectadas y el total de latas abolladas ingresadas.

Tabla 1.

Ensayo 1

P1	P2	P2	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	3	4	3	4	5	5	4	5	5
60%	60%	80%	60%	80%	100%	100%	80%	100%	100%
PROMEDIO									82%

Tabla 2.
Ensayo 2

P1	P2	P2	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	3	4	5	5	4	5	5
80%	80%	80%	60%	80%	100%	100%	80%	100%	100%
PROMEDIO									86%

Tabla 3.
Ensayo 3

P1	P2	P2	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	5	4	5	5	4	5	5
80%	80%	80%	100%	80%	100%	100%	80%	100%	100%
PROMEDIO									90%

Tabla 4.
Ensayo 4

P1	P2	P2	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
80%	80%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PROMEDIO									94%

Tabla 5.
Ensayo 5

P1	P2	P2	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PROMEDIO									100%

En las tablas 1-5, se pueden observar los resultados de cada ensayo en donde por cada prueba realizada se establecería un porcentaje promedio de eficiencia, para posteriormente realizar mediante estos el cálculo de un promedio general, este mismo servirá para medir la calidad del sistema de visión artificial en términos de efectividad en la detección, en base a ello se obtuvo que la eficiencia general sería de 90.4 %. Este resultado se considera óptimo para poder aplicar el sistema a una situación real.

Discusión

En el proyecto según (Pachón, 2019) se terminó desarrollando sobre una maqueta el prototipo de un sistema de visión artificial funcional que permite detectar infecciones en productos enlatados mediante la adquisición de imágenes y procesamiento de estas en tiempo real, con una efectividad del 85% en casi 1000 muestras aleatorias, se ha demostrado que la implementación de un sistema puede mejorar los tiempos en 30% reduciendo el tiempo en operación por lata en comparación de un método más tradicional, se tiene establecido que con la implementación de un sistema artificial se evitaran descansos y permitirá un trabajo perpetuo, la elaboración de un algoritmo debe tomar en cuenta que se tiene que trabajar de la forma más agilizada posible, a comparación de nuestro desarrollo tenemos una mejoría

del 5.4% deficiencia, ya que nosotros contamos con 90.4% en 4 ensayos de 10 muestras.

Conclusiones

En conclusión, se logró elaborar un sistema para poder detectar imperfecciones de las latas de atún con una efectividad del 90.4%, mediante la aplicación de 4 técnicas enfocadas en la detección de la estructura de una lata y comparándola con parámetros ideales para considerarse como adecuada.

Se determinaron las técnicas para el análisis de la estructura de las latas de atún y los bordes defectuosos que estas puedan; tener siendo estas: Conversión a escala de grises, Aplicación de filtro Gauss, Aplicación de algoritmo Canny Edge y uso del método de Hough para elementos circulares

Se establecieron las características y secuencia del proceso lógico para seguir al momento de iniciar la detección empezando en una secuencia lógica y terminando en resultados entendibles para un usuario común, presentando todo en una interfaz muy sencilla y usando el código de forma simplificada para evitar error en la sintaxis.

Referencias

Almendariz, J. (2008). Evaluación de defectos en el doble sello de productos enlatados de atún en Yellow fin Thunnus albacares en SEAFMAN C.A de manta. Recuperado de: <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/566/1/ULEAM-BLGO-0021.pdf>.

Andrade, G. A. (2015). Correspondencia multiespectral en el espacio de Hough. Recuperado de: <https://core.ac.uk/reader/33708770>

Artificial, V. (2012). Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. Ministerio de Educación y Formación Profesional, Gobierno de España. https://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONA_RTIFICIAL.pdf.

BcnVision. (2017). Sistemas de iluminación para aplicaciones de visión artificial. Recuperado de: <http://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/iluminacion-vision-artificial2/>

Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, (6), 679-698. Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4767851/>

Cardozo, C. J. M., Gallego, V. R., & Valenzuela, J. R. C. (2009). Uso de rayos x para evaluar la maduración y deterioro de la pulpa en frutos de guanábana (*Annona Muricata* l. cv. Alita). *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4(2), 91-98 <https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428102010.pdf>.

Challenger-Pérez, I. D.-R.-G. (2014). El lenguaje de programación Python. Cuba. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/comocitar.oi?id=181531232001>.

De La Cruz, L. (2014). Optimización en el sistema operativo de esterilización de latas de atún mediante la recuperación de vapor y condensación en las autoclaves. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/160242834.pdf>

García, E. (2012). Visión artificial. *FUOC: Fundación para la Universidad Oberta de Catalunya*. Recuperado de: <http://www.playmodes.com/wp-content/uploads/2017/04/UOC-PDF-6.pdf>

Gonzales Marco, A. M. (2006). Técnicas y Algoritmos básicos de visión artificial. España. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=338314>.

Gonzales, C. (2012) Sistema automatizado de detección de defectos en piezas metálicas mediante ensayos no destructivos con ultrasonidos. Recuperado de: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/spui/handle/1002/833z>

Icaza Paredes, W. A. (2019). Desarrollo de sistema de visión artificial con labview, que permita detectar imperfecciones en las latas de atún. (Tesis de Grado). Recuperado de:

<http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4921>

Pachón, D. L. (2019). Prototipo de sistema automatizado con visión artificial para la selección de empaques de plástico, vidrio y lata en el proceso de reciclaje. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12558/2497>

Poblet, P. (2022). Detección de defectos en latas de refrescos mediante redes neuronales y visión artificial (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2117/371689>

Rebaza, J. V. (2007). Detección de bordes mediante el algoritmo de Canny. Trujillo. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267240432_Deteccion_de_bordes_mediante_el_algoritmo_de_Canny

Vivas, M. F., & Vivar, W. A. (2022). Diseño e implementación de un sistema de control automático con visión artificial y redes neuronales destinado al control de calidad de alimentos (Tesis de Grado). Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23225>