



Artificial Vision System for the inspection of dates in industrial food products

León León, Ryan Abraham¹, García Saire, Jair Milton²
ryan.leon@upn.edu.pe, N00246981@upn.pe
¹⁻²Universidad Privada del Norte, Perú

Abstract— The main objective of this work is to improve the efficiency in the inspection of dates in industrial food products through an artificial vision system using the Python language, which will make it possible to process the images for their subsequent classification between an image of correct or incorrect visualization, contributing to future studies and development of similar systems. It began by identifying the main problems that exist in most of the food industries worldwide. Likewise, based on the conclusions found in previously developed works. Once the theoretical base was obtained, we proceeded to identify the necessary materials to carry out this project and carry out the processing where the correct visualization of the expiration dates of said products is verified. At the end of the control, the approved products go to the dispatch area for marketing, otherwise, it will be rejected as a defective product. Various tests were carried out that conclude that the artificial vision system together with the Python language shows an efficiency of 97.20% reducing human error, proving its effectiveness in the quality process.

Keywords—Food industry; artificial vision, inspection, efficiency.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN,

ISBN: (to be inserted by LACCEI).

Sistema de Visión Artificial para la inspección de fechas en productos industriales alimenticios

León León, Ryan Abraham¹, García Saire, Jair Milton²

ryan.leon@upn.edu.pe, N00246981@upn.pe

¹⁻²Universidad Privada del Norte, Perú

Resumen— El presente trabajo tiene como principal objetivo mejorar la eficiencia en la inspección de fechas en productos industriales alimenticios a través de un sistema de visión artificial mediante el lenguaje Python, que hará posible el procesamiento de las imágenes para su posterior clasificación entre una imagen de correcta o incorrecta visualización, aportando a futuros estudios y desarrollos de sistemas similares. Se inició identificando los principales problemas que existen en la mayoría de las industrias alimenticias a nivel mundial. Asimismo, tomando como base las conclusiones encontradas en trabajos desarrollados anteriormente. Una vez obtenida la base teórica, se procedió a identificar los materiales necesarios para llevar a cabo este proyecto y realizar el procesamiento donde se verifica la correcta visualización de las fechas de vencimiento de dichos productos. Al finalizar el control, los productos aprobados pasan al área de despacho para su comercialización, caso contrario, se rechazará por ser un producto defectuoso. Se realizaron diversas pruebas que concluyen que el sistema de visión artificial junto con el lenguaje Python muestra una eficiencia de 97.20% reduciendo el error humano, comprobando su efectividad en el proceso de calidad.

Palabras clave— Industria alimentaria; visión artificial, inspección, eficiencia.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas industriales alimentarias invierten cada vez más en el control de calidad de los procesos productivos evitando el desprestigio de alguna de las marcas comerciales, aspecto que influye en la rentabilidad económica. Al respecto se afirma que, los costos asociados a la mala calidad generan un impacto entre el 5% y el 40% de las ventas netas y repercuten negativamente en la confianza del cliente [1]. Por tal razón, es de suma relevancia implementar sistemas de administración y gestión de la calidad cada vez más eficientes, dejar la inspección tradicional, descartando la interacción hombre- producto e incrementarla fiabilidad y productividad [2]. Cualquier organización debe caracterizarse por ofrecer productos y servicios óptimos a los consumidores, quienes cada día son más exigentes a medida que hay mayor número de competidores. Todo ello, con la finalidad de mantener vigencia y aumentar su participación en un mercado cada vez más competitivo [3] ofreciendo sistemas de calidad cada vez más confiables con alto grado de precisión y confiabilidad [4]. Con relación a esto, la automatización de una de las etapas productivas puede originar que otras etapas relacionadas incrementen su productividad y a consecuencia de ello, la calidad del proceso productivo mejore de varias maneras, pero, sobre todo, en tareas repetitivas, las cuales sean realizadas por

un mismo colaborador de la empresa, eliminando de esta manera, el fallo humano [5]. La idea de gestión de calidad comprende la orientación de la organización hacia la calidad de sus productos o servicios, siendo una estrategia que busca asegurar que las cosas se están realizando de la mejor manera posible con el objetivo de conseguir el cumplimiento de los objetivos trazados por la organización. La calidad se expone como la correcta realización en el primer intento del producto o servicio para satisfacer las necesidades del consumidor [6].

De igual manera, un sistema automatizado se define como aquella máquina o proceso que es capaz de reaccionar sin necesidad de la intervención humana, realizando acciones apropiadas con el fin de cumplir la labor por la cual fue diseñado [7]. El proyecto busca identificar las fallas existentes en las etiquetas de los productos industriales alimenticios a través de la visión artificial, la cual es una de las herramientas más relevantes dentro de la industria 4.0, la cual ha transformado la forma en la que los procesos industriales son realizados [8] tiene funciones como: obtener, procesar y analizar imágenes para que, de esta manera, una máquina pueda emplearla e interpretarla reconociendo objetos o algún modelo del espacio circulante[9]. Por un lado, se explica como la transformación de datos desde un fotograma o videocámara para la toma de una decisión o la creación de una nueva representación [10]. Asimismo, algunas acciones en las que estos sistemas intervienen son: control de calidad y procesos, soporte a la producción, seguridad industrial, logística y generación de datos [11]. Sin embargo, a pesar de la evolución de la visión artificial, aún no se ha podido alcanzar la capacidad de los sistemas visuales naturales. [12]. Si bien es cierto que, gracias a la visión artificial se puede sustituir determinadas funciones que comúnmente son realizadas por el operario, es necesario el control por parte este para comprobar el correcto funcionamiento del sistema [13]. En relación con los antecedentes, en un artículo científico sobre el entrenamiento y selección automática de modelos de color para la segmentación de plantas en imágenes de cultivos agrícolas, se evidenció un error de 0.3% de precisión, corroborando la efectividad de la visión artificial en el proceso de calidad en la empresa [14]. Por un lado, Figueroa y Roa desarrollaron en su investigación un sistema de visión artificial para la identificación del estado de maduración de granadillas a partir del reconocimiento de imágenes. En cuanto a la metodología de trabajo, el área en píxeles de las imágenes pertenecientes a la fruta se extrajo a través de la técnica de Otsu por medio de la importación de librerías de OpenCv en Python. Finalmente, los resultados evidenciaron un 92,6% de aciertos en la identificación del estado de maduración, a partir de un conjunto de imágenes de

90 frutas en diferente grado de madurez [15]. Por otro lado, en base a la investigación sobre el diseño y construcción de una estación de clasificación automática con visión de máquina que permitió integrar tecnología Free and Open Source Software (FOSS) con equipos comerciales Allen Bradle y fue capaz de clasificar dos clases de productos entre cuatro tipos establecidos, obteniendo un rendimiento mecánico máximo de 32 productos por minuto (1920 productos hora) con el transportador a 22 cm/s y con 40 cm de distancia entre productos obteniendo un error promedio de 0,8% [16]. Además, en el desarrollo de proyectos similares para operaciones automáticas de control de calidad, se implementó un sistema de visión artificial Robot Vision PRO en un centro de manufactura en Colombia para la inspección de empaques en compresores centrífugos, el cual resultó eficiente para la detección de defectos geométricos [17]. Por ello, el problema se define de la siguiente manera: ¿En qué medida un sistema de visión artificial permitirá mejorar la eficiencia en la inspección de fechas en productos industriales alimenticios? La hipótesis planteada consiste en determinar si un sistema de visión artificial permitirá mejorar la eficiencia en la inspección de fechas en productos industriales alimenticios. El objetivo principal de la presente investigación tiene como finalidad mejorar la eficiencia en la inspección de fechas en productos industriales alimenticios a través de la simulación de un sistema de visión artificial. Asimismo, como objetivos específicos se ha propuesto efectuar un diagnóstico actual de la situación de la industria alimentaria en relación con las políticas de control de calidad, así como ejecutar la simulación de un sistema de visión artificial que se ajuste a las necesidades de las empresas industriales alimentarias con menos recursos económicos y, por último, evaluar la propuesta mediante el uso de indicadores adecuados para medir la eficiencia del nuevo sistema de visión artificial. Además, se justifica, a nivel teórico, la presente investigación sobre la simulación de un sistema de visión artificial para la inspección de fechas en productos industriales alimenticios, ya que a través de ello se sentarán las bases científicas para definir nuevas estrategias que permitan optimizar el control de calidad en los procesos productivos en empresas dedicadas al rubro alimenticio, y que servirán de precedente para futuras indagaciones.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta para la visualización de las fechas de vencimiento en productos alimenticios industriales se desarrolló a través del siguiente procedimiento:

Adquisición de la imagen: El análisis de imagen implica empezar un proceso para obtener una toma fotográfica, con el fin de estudiarla y tomar una decisión en base al contexto [18]. En esta primera etapa, el objetivo es captar las características del objeto, más específicamente, las fechas de vencimiento del producto a través de tomas fotográficas mediante la utilización de un celular cuya cámara frontal es de 32 MP, asimismo, presenta una cámara trasera principal y gran angular de 12 MP teniendo en cuenta que la información del resultado de la

imagen está sujeto al posicionamiento de la luz y el observador. [19].

La imagen se captura utilizando una cámara, donde se define la ecuación 1:

$$f(x, y) = G(i, j) \quad (1)$$

Donde: X-Y: Coordenadas espaciales

F: Intensidad del brillo

G: Imagen pixelada

i – j: Píxeles

En caso de imágenes a color, corresponde al modelo de color aditivo RGB (Red, Green and Blue) [20], siendo este proceso similar al realizado por la retina ser humano [21].

Asimismo, para la producción de una imagen en escala de grises se realiza la combinación lineal de los tres canales RGB que se muestra en la ecuación 2 [22].

$$ImG = rxChannelR + gxChannelG + bxChannelB \quad (2)$$

Los valores de las constantes propuestos son: r = -0.884, g = 1.262 y b = -0.311, los cuales se obtuvieron mediante un proceso de optimización basado en algoritmos genéticos. A esta imagen se le aplica un umbral de 0,48 obtenido mediante un procedimiento heurístico, con el fin de conseguir una imagen en blanco y negro.

Para la determinación del ángulo de orientación, a la imagen resultante se le aplicó el operador gradiente. Se define el vector gradiente de una función como ecuación 3:

$$\nabla_f(x, y) = [\partial f(x, y)/\partial x \ \partial f(x, y)/\partial y] = [G_x \ G_y] \quad (3)$$

Tanto la magnitud como la detección de la gradiente son de suma importancia para la detección de bordes [20], la cual está dada por la ecuación 4:

$$|\nabla f| = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Y finalmente, el ángulo queda expresado en la ecuación 5:

$$\theta = \left(\frac{\partial f(x, y)/\partial y}{\partial f(x, y)/\partial x} \right) \quad (5)$$

De esta manera, para cada píxel de la imagen se pueden calcular las componentes “x” e “y” del vector gradiente, es decir, $G_x(i; j)$ y $G_y(i; j)$. En el vector gradiente cada píxel (i; j) apunta en dirección al incremento máximo posible de la intensidad. En cuanto, para la magnitud del vector corresponde a la cantidad de cambio de la intensidad en esa dirección [23].

Por otro lado, los algoritmos de OCR utilizan técnicas de redes neuronales y aprendizaje automático. Redes convolucionales + BiDirectional LSTM brindan buen rendimiento. Es posible que el reconocimiento exacto de documentos alcance una exactitud entre el 80% y 90%, haciéndolo útil solo en contextos limitados. Esto es conocido como el Reconocimiento Inteligente de Caracteres [24]. La manera en que las capas interconectadas de las redes neuronales se comunican entre sí se conoce como la arquitectura de capas. Para este proyecto, fue trazado una arquitectura con una composición de capas convolucionales con función de activación, continuando con una capa de pooling, con una red ya existente, pero, que ha sido amoldado en relación con nuestro proyecto, reformando los valores y cantidad de capas de los parámetros [25]. La arquitectura de capas principal definida

para la inspección de fechas de vencimiento en productos alimenticios se describe a continuación ver figura 1:

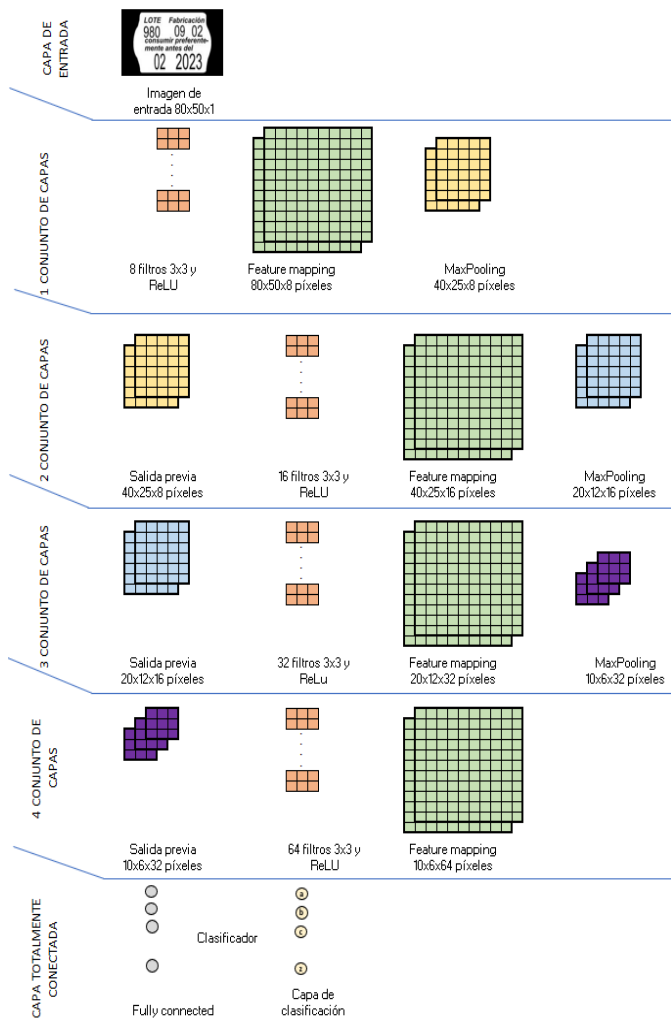


Fig. 1 Arquitectura de capas

A partir de la captura de la imagen, el procesamiento interno se da de la siguiente manera: Como estamos frente a una imagen de 80x50x1(80 píxeles de alto, 50 de ancho y 1 canal de profundidad) equivalente a un total de 4000 neuronas, es ideal trabajar con redes neuronales convolucionales. En el proceso inicial que se da en el primer conjunto de capas consiste en realizar el proceso de filtrado en una escala de 3x3 para segmentar los valores de cada píxel, una vez identificado el valor de cada píxel se va a tomar el valor más alto y ubicarlo en una nueva capa, la nueva capa formada la podemos apreciar en la parte de MaxPooling, esto con el objetivo de ir reduciendo el tamaño de la información sin perder información importante y extraer ciertas características.

Los siguientes conjuntos de capas realizan el mismo proceso incrementando la magnitud de filtrado para disminuir a mayor razón la dimensión de la nueva capa formada en el MaxPooling, hasta que finalmente, la nueva capa que vamos formando contiene una cantidad no tan significativa de píxeles,

esto con la finalidad de convertir esta red neuronal convolucional a una red neuronal tradicional y expresar los valores en vectores que sea de rápido reconocimiento para el proceso de clasificación.

La clasificación es la que indicará que tipo de imagen es la que estamos procesando y si la fecha de vencimiento está en óptimas condiciones para ser leída y ser transcrita a texto o si presenta deficiencias en la impresión del paquete, si este fuese el caso la simulación simplemente no nos mostraría un texto.

En OCR, se emplean escáneres ópticos capaces de transformar la intensidad de la luz en niveles grises con el fin de ahorrar espacio y esfuerzo, este proceso denominado umbralización es indispensable para la calidad de la imagen y se requiere de métodos más sofisticados con el objetivo de generar mejores resultados ver ecuación 6.

$$b(r, c) = \{si I(R, C) < T t1 si I(r, c) \geq T \quad (6)$$

Donde:

b (r, c) hace referencia a la intensidad

t0 y t1 hace referencia a dos posibles niveles de gris [26]

Almacenamiento: Una vez realizado la toma fotográfica del objeto a estudiar, se procede a almacenarlo con una nomenclatura de fácil reconocimiento para su posterior utilización, a partir de esta fase fue necesario la utilización de una laptop, con un procesador Intel i5 con una versión de Windows 11.

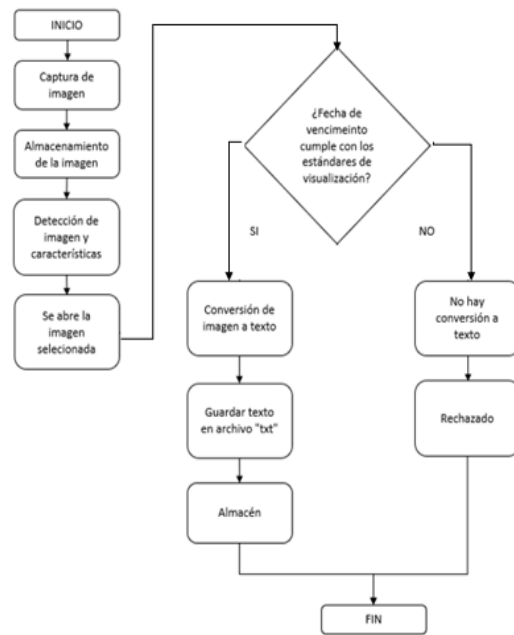


Fig. 2 Flujograma del proceso

Reconocimiento: Después del almacenamiento de la imagen utilizando el lenguaje de programación Python, que nos permitirá detectar el correcto o incorrecto estado de la fecha de vencimiento de la imagen (visualización).

Conversión e Interpretación: Al terminar el reconocimiento de características (fecha de vencimiento) de la captura fotográfica, el software determinará si dicha fecha de vencimiento es de correcta o incorrecta visualización, de ser correcta, los datos de la imagen se convertirán en un texto, el cual se guardará en un archivo txt, en caso la visualización no cumpla con los estándares, el programa no realizará la conversión de imagen a texto y será rechazado ver figura 2.

Pre procesamiento del software con el código ver tabla 1:

TABLA I
IMPORTACIÓN DE LIBRERÍAS

	Código para importación de librerías	Descripción
1	import pytesseract as tess from PIL import Image import cv2 tess.pytesseract_cmd = r'C:\Program Files\Tesseract-OCR\tesseract.exe'	Evento que se realiza para la correcta ejecución del programa

Procesamiento del software con el código ver tabla 2:

TABLA II
EJECUCIÓN DEL SOFTWARE

	Código	Descripción
2	my_image = cv2.imread('text2.jpg')	Selección de imagen
3	txt = tess.image_to_string(my_image)	Procesamiento de imagen
4	cv2.imshow('Image', my_image) cv2.waitKey(0) cv2.destroyAllWindows()	Visualización en una nueva ventana
5	my_file = open('file1.txt', 'w') my_file.write(txt + '\n') my_file.close()	Conversión a texto

En la figura 3 se observa el procesamiento del software para la conversión de la imagen a texto.

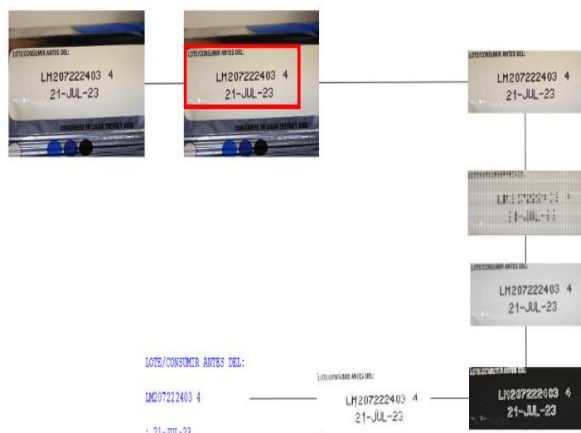


Fig. 3 Fases del procesamiento del software

Para este trabajo se realizaron pruebas con el filtro de convolución para minimizar el efecto de objetos indeseados

según las características de la imagen. Asimismo, el filtro identifica la media de todos los píxeles definidos en la imagen (n1 y n2) por la ventana rectangular de tamaño NxM de acuerdo con la ecuación 7 [27]:

$$\mu = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^{i=n1 \times n2} v(n1, n2) \quad (7)$$

Cabe recalcar que, cada una de estas etapas fue de vital importancia para el procesamiento del software, pues gracias a ello, se pudo realizar una correcta ejecución, lo cual permitió la clasificación entre las imágenes de productos con una correcta e incorrecta visualización de fecha de vencimiento.

III. RESULTADOS

Después de culminar el desarrollo del software para la visualización de las fechas de vencimiento, se procedió a comprobar la efectividad del sistema de visión artificial a través de respectivas pruebas en 600 imágenes de diversos productos alimenticios. A partir de allí, se han obtenido los siguientes resultados de acuerdo con los objetivos planteados en un inicio ver tabla 3 y tabla 4.

TABLA III
EJECUCIÓN DEL SOFTWARE

Pruebas del Sistema inteligente de reconocimiento de patrones				
Nombre de la prueba:		Grupo de Módulos		
Realizada por:		Programador		
Nº	Categoría	Respuesta esperada de la interfaz de usuario	Incremental ascendente	Incremental descendente
5	Visión Artificial	Captura de imagen	OK	OK
6	Visión Artificial	Procesamiento de la imagen	OK	
7	Visión Artificial	Visualización de una nueva ventana	OK	
8	Visión Artificial	Conversión a texto	OK	

TABLA IV
PRUEBA DEL SISTEMA COMPLETO

Pruebas del Sistema inteligente de reconocimiento de patrones					
Nombre de la prueba:		Sistema completo			
Realizada por:		Programador			
Nº	Categoría	Respuesta esperada del sistema Python	Velocidad	Exactitud	Fiabilidad
9	Visión Artificial	Captura de imagen	100%	100%	95%
10	Visión Artificial	Procesamiento de la imagen	85%	100%	85%
11	Visión Artificial	Visualización de una nueva ventana	90%	100%	90%
12	Visión Artificial	Conversión a texto	100%	100%	100%

La evaluación realizada arrojó valores positivos en cuanto al cumplimiento de la prueba de grupo de módulos y el sistema completo, dando como resultados de 100% en cuanto a exactitud, en cuanto a la velocidad y fiabilidad de obtuvieron valores porcentuales que rondan entre 85% y 100%. A continuación, se detallan la verificación de las muestras en base a la operatividad ver tabla 5.

TABLA V
VERIFICACIÓN EN BASE A LA OPERATIVIDAD

Nº	Pruebas del Sistema inteligente de reconocimiento de patrones		
	Nombre de la prueba:	Verificación del uso del sistema	
	Realizada por:	Programador	
	Categoría	Respuesta esperada del sistema Python	Velocidad
13	Visión Artificial	Captura de imagen	100%
14	Visión Artificial	Procesamiento de la imagen	100%
15	Visión Artificial	Visualización de una nueva ventana	100%
16	Visión Artificial	Conversión a texto	100%

La obtención de resultados de la verificación realizada en base a su operatividad fue exitosa, consiguiendo un valor cuantitativo de 95.75% como promedio. El éxito del presente desarrollo se debe en parte a la óptima adquisición de imágenes con buena resolución, una iluminación óptima y mediante la utilización del lenguaje Python, pues tiene librerías para el manejo de procesamiento de imágenes, aplicando diferentes técnicas de la visión artificial.

Observación: El código permite el reconocimiento de la correcta visualización de la fecha de vencimiento, convirtiendo la imagen en texto. En la siguiente figura, se presente una fecha de vencimiento con inconformidades como la mala impresión de la fecha por falta de tinta ver figura 4.



Fig. 4 Correcta visualización

Observación: Se verifica que el programa no reconoce la visualización de la fecha de vencimiento al no convertir la imagen en texto, pues no fue capaz de reconocerlo, por ende, es considerado producto defectuoso ver figura 5.

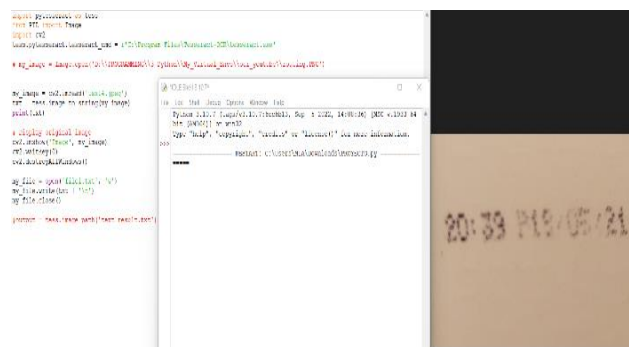


Fig. 5 Incorrecta visualización

A partir de la observación de tales muestras, se procedió a realizar la validación del sistema en base a su operatividad. Para ello, se consideró el análisis de imágenes, en variedad de resoluciones y colores, de diferentes tipos de productos. Para más detalles, observar la tabla 6.

TABLA VI
ANÁLISIS DE FECHA DE VENCIMIENTOS EN PRODUCTOS

Muestra	Cantidad	Imágenes leídas	Imágenes no leídas	Fechas defectuosas
Lote 1	100	85	12	3
Galletas		85.00%	12.00%	3.00%
Lote 2	100	77	20	3
Galletas		77.00%	20.00%	3.00%
Lote 3	100	80	18	2
Latas y conservas		80.00%	18.00%	2.00%
Lote 4	100	73	23	4
Chocolates		73.00%	23.00%	4.00%
Lote 5	100	81	17	2
Cajas de cereales		81.00%	17.00%	2.00%
Total	500	396	90	14
		79.20%	18.00%	2.80%

Se comprueba que el software logra reconocer el 97.2% del total de las muestras, de la cuales el 79.2% se encontraba en buen estado, mientras que el 18% restante presentaba defectos. Asimismo, se observa un margen de error del 2.8% con relación a la visualización y procesamiento de imágenes, la cuales no fueron leídas por el software a pesar de encontrarse en buen estado.

IV. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo principal mejorar la eficiencia en el reconocimiento de fechas en productos industriales alimenticios a través del desarrollo de un sistema de visión artificial basado en el lenguaje de programación Python. En cuanto a los resultados, se comprobó la efectividad del sistema de visión artificial por medio de pruebas en 600 imágenes correspondientes a diversos productos del sector

alimentario. De dicho muestreo, se obtuvo una eficiencia del 97.2% respecto a la visualización del total de imágenes evaluadas, de las cuales el 79.2% se encontraba en óptimo estado, mientras que el 18% restante presentaba defectos. Asimismo, se observa un margen de error del 2.8%, es decir, que el software no realizó la lectura correcta de las imágenes de prueba a pesar de encontrarse en un estado aceptable de visualización. Al respecto, en una investigación sobre el entrenamiento y selección automática de modelos de color para la segmentación de plantas en imágenes de cultivos agrícolas, se estimó un error en el cálculo del PGC normalmente inferior a un 0.3%, lo cual refleja una excelente referencia acerca de la efectividad de la visión artificial en el proceso de calidad en el campo de la agronomía [14]. Por un lado, Figueroa y Roa desarrollaron un sistema de visión artificial para la identificación del estado de maduración de granadillas a partir del reconocimiento de imágenes. Finalmente, los resultados de la investigación evidenciaron un 92,6% de aciertos en la identificación del grado de madurez de imágenes de 90 frutas a través de la técnica de Otsu por medio de la importación de librerías de OpenCv en Python [15]. Por otro lado, Velazco, Pérez y Flórez en su estudio sobre el diseño y construcción de una estación de clasificación automática con visión de máquina señalan que la capacidad del sistema actúa en función a la velocidad de la banda de la estación de manufactura y la distancia entre los productos, obteniendo un máximo rendimiento de 32 productos por minuto y un error promedio de 0.8% con la banda a una velocidad de 22 cm/s y 40 cm de distancia entre productos [16]. En contraste con los resultados obtenidos por otros autores que desarrollaron sistemas de visión artificial para el aseguramiento de la calidad en diversos productos de consumo masivo, se puede afirmar que la implementación de dichos sistemas repercute positivamente en las organizaciones respecto al mejoramiento de la eficiencia en los procesos asociados a las áreas de producción y calidad.

V. CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente estudio consiste en mejorar la eficiencia en la inspección de fechas de vencimiento en productos industriales alimenticios por medio de un sistema de visión artificial y la utilización del lenguaje de programación Python, el cual fue desarrollado y ejecutado exitosamente. El sistema permitió la identificación y clasificación entre la correcta e incorrecta visualización de la fecha de vencimiento de un producto.

Este sistema permite inspeccionar grandes cantidades de producción, disminuyendo el margen de error, evitando que productos defectuosos salgan al mercado.

Para la determinación del correcto funcionamiento del programa fue necesario la realización de varias pruebas con diferentes muestras, en las cuales se logró concluir que el diseño del sistema se ajusta al problema.

Se concluye que el sistema de visión artificial elaborado mediante el lenguaje de programación Python permitirá mejorar

la eficiencia en cuanto a la inspección de fechas en productos industriales alimenticios en un 97.2%.

Se presenta un margen de error de 2.8%, esto puede ser atribuido a que, para la realización de este proyecto se empleó una cámara de buena resolución, pero existen otras mejores en el mercado, la usada no fue diseñada con este propósito. Además, no se aplicó mejoras en la calidad de las imágenes antes de ser analizadas.

REFERENCIAS

- [1] Valenzuela Jiménez, L. (26 de octubre de 2015). Los costos de la mala calidad como quinto elemento del costo: aproximación teórica en la gestión de la competitividad en medio de la convergencia contable. Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v24n1/v24n1a06.pdf>
- [2] Larcher, L., Juárez, P., Ruggeri, A., BIASONI, E., Cattaneo, C., & Villalba, G. (19 de noviembre de 2013). Ponderación de calidad en frutas usando técnicas de visión artificial para la estimación de daños. *Universidad Nacional de Santiago de Estero*. Argentina. <https://amcaonline.org.ar/ojs/index.php/mc/article/download/4498/4428>
- [3] Caicedo Hinojosa, L., Chuquimarca Chuquimarca, R., & Velásquez Paacha, K. (30 de noviembre de 2019). Administración de servicios de alimentos: nutrición, calidad y producción. *Revista científica mundo de la investigación y el conocimiento*. Ecuador. <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/588/797>
- [4] Alanís Pérez, A. (febrero de 2018). Sistema de visión industrial para piezas en procesos con dispositivo móvil o single board computer: Revisión de literatura. En búsqueda de la optimización. Chihuahua, México. <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/3910>
- [5] Arguello Verbanaz, S. (enero de 2019). Los efectos de la automatización sobre el trabajo. Asesoría Técnica Parlamentaria. Chile. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/2694/1/1/Los efectos de la automatización sobre el trabajo.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/2694/1/1/Los%20efectos%20de%20la%20automatizaci%C3%B3n%20sobre%20el%20trabajo.pdf)
- [6] Aguillo Rios, D., & Montoya Lunavictoria, J. (mayo de 2011). Diseño e implementación del módulo de gestión de calidad de envasado por módulo de visión artificial aplicado al sistema de envasado del laboratorio de automatización industrial de la e.i.s. *Escuela superior politécnica de chimborazo*. Chimborazo, Ecuador. <http://dSPACE.espacech.edu.ec/handle/123456789/555>
- [7] Sanchis Llopis, R., Romero Pérez, J., & Ariño Latorre, C. (2010). Automatización industrial. *Ingeniería de sistemas industriales y diseño*. Castellón de la Plana, España. <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/24182/s31.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- [8] Villalba, A., Requena, T., Solanilla, F., & Rangel, J. (27 de Julio de 2021). Prototipo de un sistema que determine el estado de madurez de un plátano utilizando Deep Learning y Visión Artificial. *Iniciación Científica*. Panamá. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/3155>
- [9] Ruiz, A. (15 de febrero de 2015). Sistemas de Percepción y. *Facultad de Informática*. California, Estados Unidos. <http://dis.um.es/profesores/alberto/material/percep.pdf>
- [10] Alvear, V., Rosero, P., Peluffo, D., & Pijal, J. (febrero de 2017). Internet of Things and Artificial Vision, Performance and Applications: Literature Review. *Universidad Tecnológica Equinoccial*. Ibarra, Ecuador. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262176018/html/>
- [11] Merino Romero, Y. (junio de 2021). Visión artificial para el control de calidad de un retrovisor. *Universitat de vic universitat central de catalunya*. Barcelona, España. http://dSPACE.uvic.cat/xmlui/bitstream/handle/10854/7003/trealu_a2021_merino_veray_vision_artificial.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] Arévalo, E., Zuñiga, A., Villegas, J., & Avilés, C. (2015). Implementación de reconocimiento de objetos. *Universidad Autónoma Metropolitana*. Azcapotzalco, México. https://rcs.cic.ipn.mx/2015_91/Implementacion%20de%20reconocimiento%20de%20objetos%20por%20color%20y%20forma%20en%20un%20robot%20movil.pdf

- [13] Fuentes Rojas, M. (2016). Sistema de visión artificial para el control de calidad de hojas de cuero para la fábrica gamacueros. *Universidad Técnica del Norte*. Ibarra, Ecuador. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5423/1/04%20MEC%20124%20TESIS%20DE%20GRADO.pdf>
- [14] Hernández, J., Gonzáles, J., García, G., & Molina, J. (3 de junio de 2015). Automatic training and selection of color models for plant segmentation in agricultural crop images. *Unidad Académica de Ingeniería*. México. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Hernandez-Hernandez/publication/281836249_Automatic_training_and_selection_of_color_models_for_plant_segmentation_in_agricultural_crop_images/links/5c6b1a44a6fdcc404ebad2f0/Automatic-training-and-selection-of-color-models-for-plant-segmentation-in-agricultural-crop-images.pdf
- [15] Figueroa, D. y Roa, E. (2016). Sistema de visión artificial para la identificación del estado de madurez de frutas (granadilla). *Revista Redes de Ingeniería*. 7(1), 84-92. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.redes.2016.1.a08>
- [16] Velazco Delgado, O., Pérez Sandoval, M., & Flórez Marulanda, J. (12 de diciembre de 2014). Diseño y construcción de una estación de clasificación automática con visión de máquina. *Tecno Lógicas*. <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n32/v17n32a10.pdf>
- [17] López Beltrán, R., Sotter Solano, E., & Zurek Varela, E. (9 de Julio de 2001). Aplicación del sistema robot vision pro para operaciones automáticas de control de calidad. *Ingeniería y Desarrollo*. Barranquilla, Colombia. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85200908>
- [18] Constante Prócel, P., & Gordón Garcés, A. (12 de agosto de 2015). Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para clasificación de al menos tres tipos de frutas. *Automatización Industrial*. Quito, Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11368/1/CD-6457.pdf>
- [19] Pérez Grassi, A., & Puente León, F. (2006). Visión Artificial. *Universidad Técnica de Munich*. Alemania. <https://www.iit.kit.edu/publ/aidima2006.pdf>
- [20] Sanabria, J., & Archila, J. (diciembre de 2011). Detección y análisis de movimiento usando visión artificial. *Universidad Industrial de Santander*. Bucaramanga, Colombia. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1513/1003>
- [21] Moeslund, T., Hilton, A., & Krüger, V. (22 de February de 2006). A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Laboratory of Computer Vision and Media Technology*. Aalborg, Dinamarca. http://cvssp-data.eps.surrey.ac.uk/Personal/AdrianHilton/Publications_files/survey_techrep.pdf
- [22] Sotomayor, J., Gómez, A., & Cela, A. (2014). Sistema de visión artificial para el análisis de imágenes de cultivo basado en texturas orientadas. *Escuela Politécnica Nacional*. Quito, Ecuador. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/download/104/pdf/1659
- [23] Montes, N., Osorio, G., Prieto, F., & Angulo, F. (3 de junio de 2001). La visión artificial aplicada al proceso de producción de café. *Academia Accelerating the world's research*. Colombia. https://www.academia.edu/1344027/La_vis%C3%B3n_artificial_aplicada_al_proceso_de_producci%C3%B3n_del_caf%C3%A9
- [24] Ordoñez, J. (2009). Reconocimiento óptico de caracteres (OCR) con redes neuronales. *Estado del arte*. Loja, Ecuador. <https://jpodonez.files.wordpress.com/2009/06/estado-del-arte.pdf>
- [25] Miles, P. (Julio de 2020). Diseño de una aplicación de reconocimiento óptico de caracteres mediante Deep Learning. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación*. Madrid, España. https://oa.upm.es/67366/1/TFG_PAULA_MILES_URIBE.pdf
- [26] Jaramillo, T., Gutiérrez, A., Rodríguez, R., & A., C. (4 de diciembre de 2016). Técnicas de umbralización para el procesamiento digital de imágenes de GEM-Foils. *Universidad Tecnológica de Pereira*. Pereira, Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84950881009.pdf>
- [27] Escobar Figueroa, D., & Roa Guerrero, E. (27 de junio de 2016). Sistema de visión artificial para la identificación del estado de madurez de frutas (granadilla). *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Colombia. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/10056>