

Diseño de un prototipo ergonómico para la estandarización de imágenes con aplicaciones en visión artificial

Design of an ergonomic prototype for the standardization of images with applications in artificial vision

Palacios-Ortega, M.^{1*} , Cruz-Florez, L.D.² , Ortiz-Aguilar, L.³ , Mosiño, J.F.⁴ , Merino-Torres, A.K.⁵ 
(*marcela.po@purisima.tecnm.mx)

Recibido: 2024-08-08 Aceptado: 2024-10-29

RESUMEN

Los investigadores en el campo de la visión artificial y del Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) coinciden en la necesidad de obtener imágenes estandarizadas que faciliten el pre-procesamiento y el proceso completo, eliminando la interferencia que genera el medio ambiente. El objetivo del presente proyecto es diseñar una cabina de iluminación que integre elementos ergonómicos, que permita normalizar imágenes en cuanto a tamaño, posición e iluminación para eficientizar las técnicas de procesamiento digital, eliminando el ruido del medio ambiente presente en la imagen desde el momento de la adquisición (captura) de imágenes digitales en formato RGB. La metodología implementada es una variación de DFMA “Diseño para la Fa-

bricación y el Montaje” la cual se enfoca en el diseño de componentes que interactúan entre sí. Se comenzó con la definición de conceptos en los que se orienta el producto a diseñar, funciones y componentes principales, se elige el material en el que será construido el prototipo para poder diseñar las piezas, después se ensamblaron los componentes y se realizaron pruebas de interferencia y movilidad. Los resultados alcanzados son: se diseñó una cabina de iluminación en Solid Works, que permitió establecer las dimensiones del prototipo tomando en cuenta condiciones de ergonomía integradas al modelo; un prototipo físico que integra el funcionamiento correcto de los componentes mecánicos y electrónicos de la cabina para la estandarización

¹División de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. del Valle 2301, Guardarrayas, 36418 Purísima de Bustos, Gto.

²División de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. del Valle 2301, Guardarrayas, 36418 Purísima de Bustos, Gto.

³División de Sistemas Automotrices, Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. del Valle 2301, Guardarrayas, 36418 Purísima de Bustos, Gto.

⁴Departamento de Sistemas y Computación, Tecnológico Nacional de México / IT de León, Av. Tecnológico S/N Fracc. Ind. Julián de Obregón, 37290 León, Gto.

⁵División de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. del Valle 2301, Guardarrayas, 36418 Purísima de Bustos, Gto.



de imágenes, las pruebas del prototipo incluyen los resultados en el histograma para evaluar si el contraste e iluminación son uniformes y guardan consistencia durante la adquisición de imágenes.

ABSTRACT

Researchers in artificial vision and Digital Image Processing (DIP) agree on obtaining standardized images that facilitate preprocessing and the entire process, eliminating interference generated by the environment. The objective of this project is to design a lighting booth that integrates ergonomic elements, which allows standardizing images in terms of size, position, and lighting to make digital processing techniques more efficient, eliminating environmental noise present in the image from the moment of acquisition (capture) of digital images in RGB format. The methodology implemented is a variation of DFMA “Design for Manufacturing and Assembly,” which focuses on the design of components that interact with each other. It began with the definition of concepts in which the product is oriented to design, functions, and main components; the

Palabras clave: Visión artificial, Diseño de componentes, Estandarización de imágenes, ergonomía, Procesamiento digital de imágenes.

material in which the prototype will be built is chosen to design parts; then the components are assembled, and interference and mobility tests are performed. The results achieved are: a lighting booth was designed in Solid Works, which allowed establishing the dimensions of the prototype taking into account ergonomic conditions integrated into the model; a physical prototype that incorporates the correct operation of the mechanical and electronic components of the booth for image standardization; the prototype tests include the results in the histogram to evaluate if the contrast and lighting are uniform and consistent during image acquisition.

Keywords: Machine Vision, Component Design, Image Standardization, Ergonomics, Digital Image Processing.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital, caracterizada por un avance acelerado en tecnologías emergentes, exige la implementación de soluciones innovadoras para resolver problemáticas de eficiencia y precisión en los procesos productivos. En el campo de la visión artificial y el Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), una de las necesidades prioritarias es la obtención de imágenes estandarizadas, capaces de facilitar las etapas de preprocesamiento y procesamiento de datos, minimizando así el impacto de variables ambientales (como el fondo de la imagen). De acuerdo con Cuevas (2017) et al [1], se utiliza el histograma para identificar características importantes de una imagen, como el contraste y la dinámica, o bien problemas producidos durante la toma de la imagen y que pueden dificultar el procesamiento. De igual forma los errores de iluminación son reconocidos en el histograma.

En el presente proyecto se tiene el objetivo de diseñar un prototipo ergonómico de estandarización de imágenes, capaz de controlar las variables presentes en el proceso de captura de imágenes digitales como el fondo de la imagen, la iluminación, la posición del objeto de estudio y la posición de la cámara las cuales, dificultan el análisis pixel a pixel de una imagen. Es fundamental mantener las variables controladas en los análisis pixel a pixel, ya que es necesario garantizar condiciones de captura uniformes. La variación en la posición del objeto puede complicar el análisis, ya que el sistema de visión, al captar el mismo

objeto desde diferentes ángulos, podría interpretarlo como uno distinto. Además, la iluminación durante la captura también influye, ya que puede cambiar según la hora del día, generando diferentes contrastes y sombras que complican el procesamiento. También es crucial eliminar el fondo de la imagen, ya que éste introduce píxeles irrelevantes para el estudio, lo que dificulta el análisis. La finalidad del proyecto en cuestión es facilitar el reconocimiento de imágenes en la visión artificial utilizando menor procesamiento al contar con imágenes estandarizadas. El reconocimiento requiere de condiciones estables en la captura de imagen para reducir las variables que puedan alterar o generar ruido innecesario en el proceso. Para esto se buscó normalizar las condiciones lumínicas y de posición tanto de la cámara como la del objeto a analizar. Se utiliza la metodología DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) [2] con enfoque en la fabricación y montaje, esta metodología implica definir las características básicas que requiere el producto, definir las especificaciones funcionales para realizar diseño de los componentes que integrarán el prototipo, definición de materiales de construcción, diseño de componentes, prototipado, ensamble, pruebas y correcciones.

El artículo se organiza de la siguiente manera, en la sección estado del arte se describen los trabajos relacionados con aplicaciones en visión artificial. En la sección marco teórico, se describen los conceptos y teorías que adquieren relevancia en el desarrollo del proyecto en cuestión, en la sección metodología se ilustran los pasos para solucionar el problema, en desarrollo de la metodología se explican los pasos ejecutados durante proyecto y en la sección resultados se reportan los resultados de esta investigación, por último, se redactan las conclusiones del proyecto.

ESTADO DEL ARTE

En esta sección se proporciona una visión general de estado del arte en las investigaciones relacionadas con diseño de sistemas para control de iluminación, así como diversas aplicaciones de la inteligencia artificial.

En la investigación realizada por Zhao J. et al (2017) [3] se propone un nuevo método de estimación de iluminación utilizando un modelo de red neuronal profunda llamado DLNet. Este modelo es capaz de predecir mapas de entorno de alto rango dinámico (HDR) a partir de una sola fotografía con un campo de visión (FOV) limitado. La red introduce un enfoque de filtrado dinámico a través de módulos de convolución esférica multi-escala (SMD), lo que permite generar filtros de convolución específicos para cada entrada, ajustándose a las variaciones de iluminación y características de la imagen. Por otra parte, el proyecto de Maza V. et al (2017) [4], propone un sistema prototipo con visión por computadora que realiza la selección automática del grano de cacao orgánico según sus características externas. El procesamiento de imágenes se realiza usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao, ofreciendo una alternativa de evaluación automatizada no invasiva y rentable, que reemplaza los métodos de inspección manual tradicional. De cada imagen digital se pueden extraer propiedades del producto escogido tales como forma, tamaño, color, etc. Bautista en 2019 [5] propone un sistema de visión artificial para análisis de imágenes espectrales útil en la detección de características en los cultivos de brócoli, adquiridas por medio de una cámara Survey 2NDVI red+ NIR, adaptada a un dron y procesada en Matlab. Las imágenes que se obtienen, debidas a la reflectancia del sol, hacen necesaria una calibración de reflectancia por comparación directa, empleando las tarjetas calibradas proporcionadas por una empresa específica. Estas tarjetas incluyen tres objetos de calibración con curvas de reflectancia estanda-

rizadas que permiten normalizar las imágenes tomadas con la cámara SURVEY 2 Red + NIR al ingresar los valores de reflectancia obtenidos de las tarjetas calibradas en el algoritmo de procesamiento. Como resultados presentan la obtención de imágenes claras, sin distorsión y con datos del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en cultivos de brócoli. Con dicho índice, se pudo estimar la calidad, cantidad y desarrollo de los cultivos a través de la codificación en colores del NDVI. Serrano (2020) [6] presenta un proyecto centrado en el desarrollo de un prototipo de aplicación móvil que utiliza inteligencia artificial y análisis de imágenes para identificar mazorcas de cacao enfermas. El autor captura las imágenes con la ayuda de un experto, para posteriormente darle una orientación vertical al cacao para entrenar y calibrar el aprendizaje por medio YOLOv4 (You Only Look Once), utilizando imágenes de mazorcas afectadas por las plagas Fitóftora y Monilia donde se logra una precisión del 60 % en la detección, lo que ofrece una herramienta útil para agricultores e investigadores, facilitando la inspección sin necesidad de un experto en fitosanidad. En la investigación realizada por Ikeuchi, K. et al (2020) [7], titulada "Sistemas de Visualización/AR/VR/MR", aborda las aplicaciones de las técnicas de iluminación activa en la mejora de los sistemas de realidad aumentada (AR), realidad virtual (VR) y realidad mixta (MR). En dicha investigación se destaca cómo el mapeo de proyección y la iluminación activa pueden usarse para manipular la apariencia de objetos, haciéndolos parecer dinámicos incluso cuando están estáticos. Los puntos clave que se describen incluyen: Mapeo de Proyección, Reproducción de BRDF, Interacción Háptica, Integración con Impresión 3D y Metamerismo.

Por otro lado, en la investigación hecha por Ikeuchi K. et al (2020) [8], aborda dos aplicaciones clave en robótica: la Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM) y el Aprendizaje por Observación (LfO). Estas tecnologías son fundamentales para mejorar la navegación y manipulación autónoma en robots. En cuanto a Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM) los autores definen que el SLAM es una técnica utilizada para que los robots naveguen creando mapas 3D mientras se mueven y estiman su propia posición. Se presentan métodos como el "stop-and-go", donde el robot avanza, recoge datos y los compara con la información previa, y el escaneo continuo de una sola línea, que permite capturar datos en tiempo real sin detenerse. En cuanto al Aprendizaje por Observación (LfO) se explica cómo los robots pueden aprender a realizar tareas observando a humanos. A través de este enfoque, se abstraen los significados de las acciones humanas para luego mapearlos en movimientos robóticos.

Dado el contexto anterior, la planificación de actividades para realizar el diseño adecuado del prototipo que controle diferentes variables y parámetros que faciliten el pre-procesamiento y el procesamiento digital de imágenes, adquiere mayor importancia ya que las aplicaciones de la visión por computadora proporcionan una alternativa eficiente y económica para dar soluciones a problemáticas de diversa índole.

MARCO TEÓRICO

El DFMA, que se traduce como "Diseño para la Fabricación y el Montaje", es un conjunto de técnicas y metodologías destinadas a optimizar el diseño o rediseño de un producto. Su objetivo principal es mejorar los aspectos relacionados con la fabricación, el ensamblaje y los costos, sin comprometer las funciones fundamentales del producto [2].

Ergonomía

La ergonomía es según [9] la disciplina científica que se ocupa de la comprensión de las interacciones entre los humanos y otros elementos de un sistema, y la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos para diseñar con el fin de optimizar el bienestar humano y el rendimiento general del sistema. La ergonomía con propósitos de diseño se enfoca en que los productos, sistemas o ambientes destinados al uso humano se basen en las características físicas y mentales de los usuarios, que faciliten el trabajo y eviten situaciones poco saludables, incómodas e ineficientes, teniendo en cuenta las capacidades físicas y psicológicas de las personas [10].

Sistemas de control

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos automatizados que controlan la energía de diversos dispositivos para hacer su correcto funcionamiento y a su vez realizar tareas en específico [11]. Los elementos de los sistemas de control incluyen:

- Generadores: es un dispositivo encargado de proporcionar la energía al sistema, por ejemplo, las baterías.
- Conductores: son los conectores que permiten el paso de corriente eléctrica como lo son los cables.
- Receptores: es el que recibe una señal eléctrica para hacer alguna acción o efecto. Son los encargados de transformar la corriente eléctrica en otros tipos de energía útil; por ejemplo, las lámparas o los altavoces.
- Elementos de maniobra y control: un ejemplo son los interruptores, los cuales se encargan de manipular y controlar ciertos elementos del sistema.
- Protectores: un ejemplo son los fusibles, estos se encargan de proteger al sistema de descargas y así evitar que colapse el mismo.

Microcontrolador ESP32

El ESP32-WROOM-32 es un módulo MCU que incluye Wi-Fi, Bluetooth, BLE, para tareas como la codificación de voz, la transmisión de música y la decodificación de MP3. El componente principal de este módulo es el chip ESP32-D0WDQ6. Este chip integrado está diseñado para ser escalable y adaptable. Cuenta con dos núcleos de CPU que pueden controlarse de forma independiente, y la frecuencia de reloj de la CPU es ajustable entre 80 MHz y 240 MHz [12].

Obtención de imágenes

La visión artificial es una rama de la inteligencia artificial que permite a los ordenadores y sistemas interpretar información a partir de imágenes digitales, videos y otras entradas visuales, y actuar o hacer recomendaciones basadas en esa información. A diferencia de la visión humana, que se beneficia de toda una vida de contexto para interpretar imágenes, la visión artificial entrena a las máquinas para realizar estas tareas en un tiempo mucho más corto, utilizando cámaras, datos y algoritmos [13].

Componentes de una cámara

De acuerdo con [13], el diafragma es un dispositivo situado en el interior del objetivo, formado por laminillas metálicas de color negro, colocadas de modo que, al superponerse, dejan un orificio central, regulable mediante el movimiento de estas. La función del orificio del diafragma es controlar el paso de la luz hasta la película, si el orificio está muy abierto pasará más luz. El tamaño del orificio influirá en la nitidez obtenida en la fotografía de los elementos que se hallen a distancias diferentes de la cámara. Este fenómeno es conocido como profundidad de campo. El obturador es un mecanismo destinado, como el diafragma, a controlar la cantidad de luz que llega a la película. El tiempo de obturación es directamente proporcional a la cantidad de luz que recibe el sensor de la cámara. En objetivos con movimiento es recomendable utilizar velocidades de obturación rápidas para lograr una congelación de imagen.

Análisis Pixel a Pixel

Una imagen digital se representa comúnmente como una función bidimensional de intensidad de luz, denotada por $I(x, y)$, donde el valor de la intensidad (o tono de gris) se expresa mediante una matriz (Figura 1):

$$I(x, y) = \begin{pmatrix} I(0,0) & I(0,1) & \dots & I(0, M-1) \\ I(1,0) & I(1,1) & \dots & I(1, M-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(N-1,0) & I(N-1,1) & \dots & I(N-1, M-1) \end{pmatrix}$$

Figura 1: *Función bidimensional de intensidad de luz.*

Una imagen digital se puede expresar por medio de una matriz $M \times N$ elementos llamados píxeles, el valor de un pixel representa la intensidad o color de la imagen en ese punto [14]. En la Figura 2 se muestra un fragmento de una imagen digital de $M \times N$ elementos y su intensidad registrada en cada pixel y sus valores de intensidad registrados en el programa Matlab.

$$\begin{bmatrix} 73 & 1 & 106 \\ 27 & 17 & 9 \\ 7 & 6 & 19 \end{bmatrix} \quad \text{Pixel}$$

Figura 2: *Fragmento de una imagen digital.*

El análisis pixel a pixel es una técnica utilizada en procesamiento de imágenes y visión artificial que evalúa y compara cada píxel de una imagen o conjunto de imágenes. Esto se hace para identificar y medir características específicas, como cambios de color, patrones, bordes o texturas, esta evaluación se realiza de la siguiente forma: Se comparan los píxeles de la imagen muestra con los píxeles de las imágenes guardadas en la base de datos, se utiliza el Coeficiente de Correlación de Pearson por medio del comando

CoefCor para identificar cuál de las imágenes de la base de datos tiene el mayor índice de correlación con la imagen muestra, esta acción se ejecuta por medio del Algoritmo 1.

Algoritmo 1 Algoritmo para análisis pixel a pixel

```
Require:  $n \geq 0$ , imagen
1: Hacer desde  $i \leftarrow 0$  hasta  $n - 1$  hacer
2:   Hacer desde  $j \leftarrow 0$  hasta  $n - 1$  hacer
3:     indicei=num2str(i);
4:     indicej = num2str(j);
5:     Archivo = strcat('modelo',indicei,'_',indicej,'.jpg');
6:     imagen2=imread(archivo);
7:     imagen2=rg2gray(imagen2);
8:     coeficientes=correcoef(double(im3),double(imagen2));
9:     Coefcor(i,j)=coeficientes(1,2);
10:   Fin
11:Fin
12: valor_maximo=max(max(CoefCor));
13:[fila columna valor]=find(CoefCor==valor_maximo)
14:indicei=num2str(fila);
15:  indicej=num2str(columna);
16:  archivo= strcat('modelo',indicei,'_',indicej,'.jpg');
17:A=imread(archivo);
18: Regresar A
```

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del diseño del prototipo se optó por una metodología basada en DFMA la cual tiene un enfoque de diseño de piezas de forma modular, se pretende que sean fáciles de ensamblar, manufacturar y posteriormente darles un mantenimiento sencillo o ser remplazadas de ser necesario. En la Figura 3 se muestra un esquema de las etapas que se siguieron para el desarrollo del proyecto y cuya descripción son:

- I. Concepto. En esta fase se determinan las características básicas que requiere el producto, así como el objetivo del producto, funcionamiento general, interacción entre componentes y consideraciones generales
- II. Especificaciones. Se establecen y definen las características y requerimientos establecidos con anterioridad, con el fin de generar un enfoque para el diseño de cada una de las piezas requeridas en el prototipo.
- III. Detalles. En esta etapa se incorporan las especificaciones y los bocetos para generar un diseño detallado del producto en CAD, considerando el proceso y material de construcción empleado para cada componente, así como su interacción en los ensambles y subensambles presentes en el producto.

- IV. Prototipado. Se fabrican y ensamblan todos los componentes de acuerdo con los planos y archivos de referencia generados con anterioridad, se realizan pruebas y los ajustes necesarios para que se cumpla con los requerimientos de función establecida en la primera etapa.

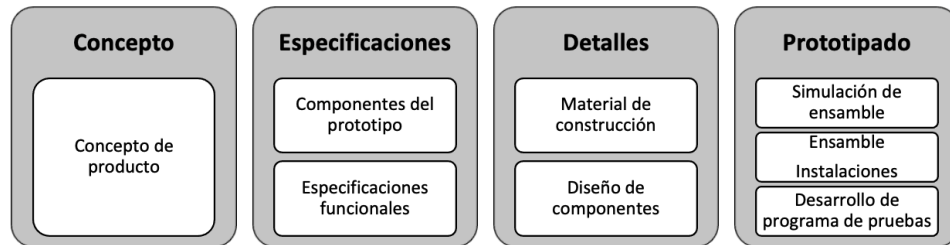


Figura 3: Diagrama de metodología de diseño.

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Concepto. La función principal de la cabina es capturar imágenes para su posterior procesamiento. Estas imágenes deben mantener una iluminación uniforme y una posición constante que no interfiera con el análisis Pixel a Pixel. El sistema de reconocimiento analiza cada imagen Pixel a Pixel; por lo tanto, es crucial que las imágenes sean lo más similares posible entre cada captura, ver Figura 4.



Figura 4: Variables a considerar en la captura de imágenes. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4 se presentan tres variables principales: iluminación, posición de la cámara y posición del objeto a analizar. Las cuales se consideran importantes de controlar para asegurar que el sistema trabaje de forma adecuada, estas variables serán incluidas en el diseño del concepto del prototipo en conjunto con las especificaciones de ergonomía y los componentes físicos que constituirán el prototipo.

Especificaciones. Los aspectos ergonómicos son indispensables al momento de diseñar ya que permitirán adecuar el modelo al uso del operador de manera fácil y segura. La parte de electrónica permite controlar la iluminación de la cabina y asegurar el centrado del objeto en la misma posición, esto con la finalidad de facilitar el procesamiento, para ello se integran el microcontrolador, el láser y sensores que permiten encender y apagar el sistema para la captura en tiempo real de las imágenes. En cuanto al sistema de reconocimiento se diseña para integrar la cámara en el prototipo la cual se utiliza en la captura

de las imágenes, se adapta la pantalla *touch*, así como el cableado y demás componentes necesarios para la integración del sistema. En la Figura 5 se representa de forma esquemática el funcionamiento de la cabina.

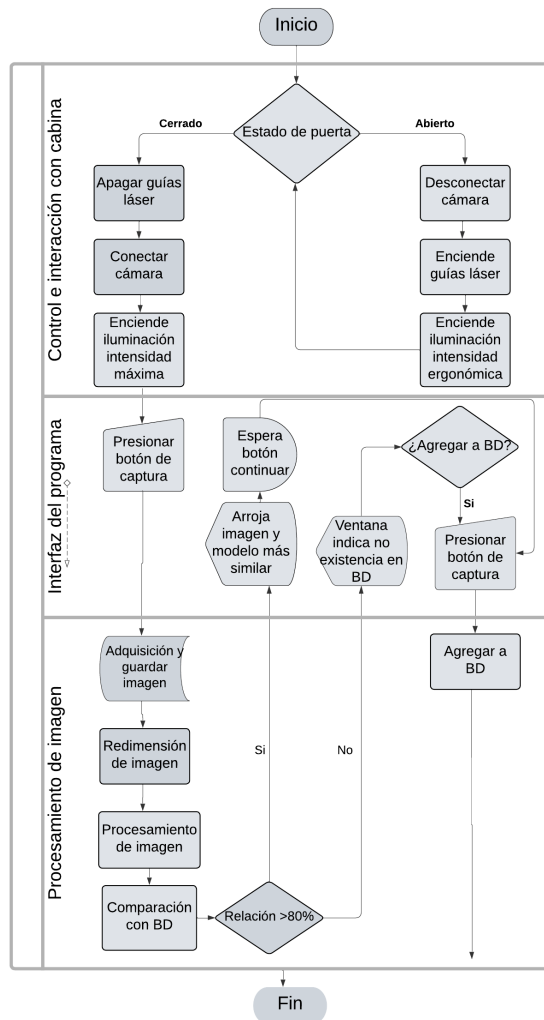


Figura 5: *Funcionamiento del prototipo Fuente: Elaboración propia.*

Detalles (Elección de material y diseño de componentes). Para la selección del material se categorizan las piezas de acuerdo con las necesidades; se utiliza el método de calificación por factores para evaluar y seleccionar el material óptimo para cada grupo de componentes. La elección de ponderaciones se realiza en consenso del equipo de trabajo, para cada criterio se define un rango de 1 a 10 donde un mayor valor corresponde a una característica deseada. Para la estructura los criterios a evaluar son: maquinabilidad, resistencia, estética y costo; cada uno con sus propias ponderaciones de acuerdo con la necesidad establecida.

Prototipado (Ensamble). En este apartado se muestran imágenes de referencia de los planos utilizados, y procesos realizados en la etapa de construcción del prototipo. Para el ensamble de los componentes el programa de diseño permite obtener los planos correspondientes al modelo, en la Figura 6 se muestra un ejemplo del diseño del sistema de elevación, dimensiones de la cabina y demás accesorios que conforman el proyecto. Para complementar el plano ilustrado en la Figura 6, en la Tabla 1 resumen los elementos que conforman el prototipo, el número de pieza, el material con el que será fabricado, así como los requerimientos en cantidades a cortar para el ensamble, además de que se especifica el plano de referencia de ingeniería que se utilizó para el ensamblaje.

ANÁLISIS PIXEL A PIXEL

El análisis Pixel a Pixel es un enfoque fundamental para el procesamiento detallado de imágenes digitales, especialmente en aplicaciones de visión artificial [15]. En este trabajo, se utilizó el análisis Pixel a Pixel para asegurar la precisión en el reconocimiento de objetos dentro del prototipo de cabina de iluminación, cuyo objetivo es estandarizar las imágenes capturadas. Este tipo de análisis evalúa individualmente cada Pixel de una imagen, identificando diferencias sutiles en términos de color e intensidad que pueden afectar el procesamiento y reconocimiento.

La principal dificultad en el análisis Pixel a Pixel radica en las variables externas que interfieren durante la captura de la imagen, tales como la iluminación ambiental y la posición del objeto. Por ello, se integró un sistema ergonómico en la cabina que controla tanto la posición de los objetos de estudio como la iluminación, lo que asegura que las imágenes mantengan condiciones homogéneas. De este modo, se eliminan sombras y otros artefactos visuales que podrían distorsionar el análisis detallado de los Píxeles. Además, para validar el sistema, se evaluaron las imágenes mediante histogramas y coeficientes de correlación de Pearson. Esto permitió determinar que la iluminación y el contraste de las imágenes eran uniformes, lo que facilitó el análisis Pixel a Pixel sin la interferencia de variables externas.

Tabla 1: Especificaciones de materiales y planos de referencia

N°	N° de Pieza	Material	Cantidad
1	CABINA	PTR	1
2	PATAS	PTR	1
3	BASE 3	MDF	8
4	BRAZO C	MDF	16
5	SEPARADOR 1	MDF	16

Tabla 1: Especificaciones de materiales y planos de referencia

N°	N° de Pieza	Material	Cantidad
6	SEPARADOR 3	MDF	4
7	BRAZO E	MDF	4
8	SEPARADOR 4	PLA	8
9	GUIA 2	PLA	2
10	EJE 1B	ALUMINIO	2
11	EJE 1	ALUMINIO	2
12	EJE 3	ALUMINIO	8
13	EJE 5	ALUMINIO	4
14	SIN FIN	VARILLA	2
		ROSCADA 3/8 IN	
15	SEGURIDAD	PLA	30
	OMEGA		
16	SOPORTE	PLA	4
	BALERO		
17	BASE 5	MDF	4
18	BASE 4	MDF	4
19	BRAZO	MDF	8
	ENGRANE A		
20	ENGRANE 1	PLA	4
21	ENGRANE 2	PLA	2
22	SEPARADOR 2	PLA	2
23	SOPORTE	MDF	4
	MANERAL 1		
24	EJE 8	ALUMINIO	2
25	EJE 9	ALUMINIO	2
26	AFBMA	RODAMIENTO	6
	12.1.4.1-0080- 228,DE,NC,8_68	8-22-6	
27	AFBMA 20.1-02- 15-10.DE.NC.10_68	RODAMIENTO 15-35-11	4
28	HBOLT 0.3750- 24X.25X.25-N	TORNILLO 3/8 IN	32
29	HNUT 0.3750-24-D-N	TUERCA 3/8 IN	32
30	EJE 10	ALUMINIO	2
31	MANGO	PLA	4
32	SEPARADOR 5	PLA	4

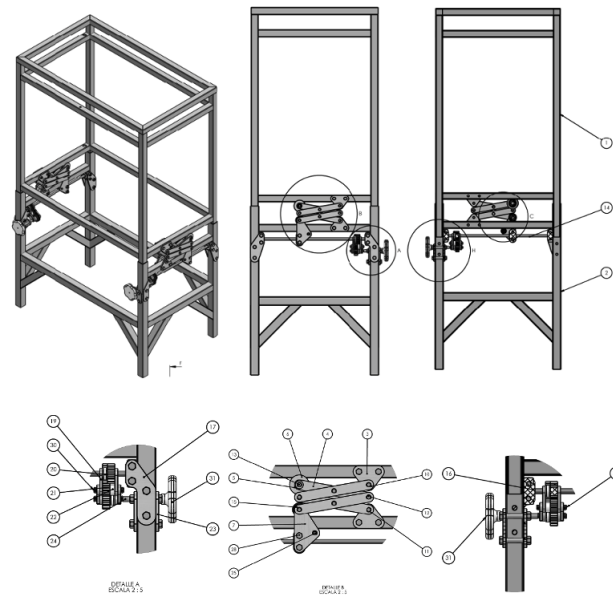


Figura 6: Plano ING-E01. Fuente: Elaboración propia. En el detalle A se muestran los componentes que conforman la manivela y el engranaje, en el detalle B se muestran los componentes para el sistema de elevación ergonómico.

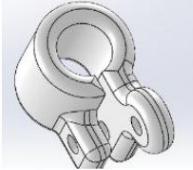
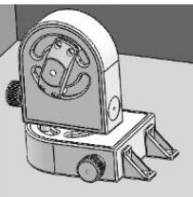
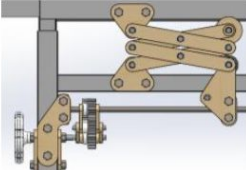
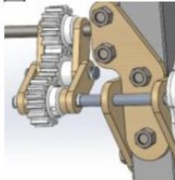
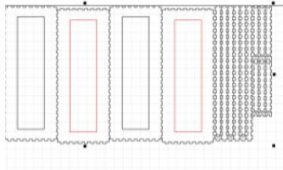
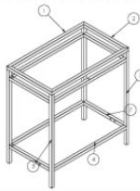
RESULTADOS

Una vez desarrollados los planos de ingeniería, cortadas las piezas e impresos los materiales de 3D se ensamblan los componentes en el prototipo funcional, a manera de resumen en la Tabla 2 se explica la función de cada diseño y su aportación, se destacan las funciones de los elementos y se anexa imagen del diseño final en físico.

Diseño final. Se presenta el diseño del prototipo en la Figura 7 con todos los elementos integrados en cuanto a ergonomía y la parte electrónica, que permite encender el sistema para la captura de las imágenes. Una vez ensamblado el prototipo, incluyendo los dispositivos de control de iluminación, cámara, láser y demás componentes integrados a la cabina, se procede a evaluar la normalización de la imagen en cuanto a:

1. Normalizar la posición del objeto a estudiar. Para lograr este objetivo se requiere ajustar la posición de la cámara y utilizar el láser como guía para colocar el objeto en la misma posición. Para la primera parte, se realizaron los ajustes pertinentes para lograr eliminar en un alto grado las sombras presentes durante la captura. De igual forma el láser adaptado a la cámara permite colocar el objeto de estudio en la misma posición utilizando el haz de luz como guía para ubicar el objeto. Es importante mencionar que una vez que se cierra la puerta de la cabina, el sensor adaptado también permite que se apague la luz del láser para no interferir en la toma de la imagen.
2. Normalizar la iluminación. Para evaluar los resultados en el sistema de reconocimiento se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson.

Tabla 2: Resumen de elementos, diseño y diseño final

Pieza	Función	Diseño	Pieza física
Soporte de diodo láser	Permite colocar el láser que servirá para proyectar las guías láser para posicionar el objeto siempre en la misma posición dentro de a cabina. Variable que estandariza: Posición del objeto a analizar dentro de la cabina.		
Porta diodo	El soporte de diodo láser permite proyectar líneas guías para estandarizar el centrado del objeto en una posición fija. El laser se apaga en cuanto se accione el microinterruptor al cerrar las puertas del prototipo. Variable que estandariza: Posición del objeto a analizar dentro de la cabina.		
Soporte Cámara	Permite colocar la cámara de captura de imágenes en una posición fija, las roscas diseñadas permiten girar la base para ajustar el ángulo en la posición deseada. Variable que estandariza: Posición de la cámara y ángulo de inclinación.		
Sistema de elevación	Permite ajustar la altura de la cabina, a la altura del operador, para evitar posiciones forzadas: Elemento diferenciador: Provee ergonomía al prototipo		
Componente del sistema de elevación	Complementa el funcionamiento del sistema de elevación ergonómico, ayuda a elevar la altura, para un manejo más accesible para el operador de la cabina Elemento diferenciador: Provee ergonomía al prototipo		
Sistema de iluminación	Permite regular la intensidad: Ajuste mínimo, cuando la cabina esta abierta para colocar el objeto de estudio sin dañar la vista del operador. Intensidad máxima, para permitir una iluminación óptima dentro de la cabina: Variable que controla: Imágenes estandarizadas siempre a la misma intensidad.		
Piezas para ensamble de estructura	Piezas que conformaran la estructura física del prototipo, su función es soportar el peso de los elementos que integraran el modelo. Elemento diferenciador: Permite la integración de todos los elementos del prototipo, al tiempo que soporta el peso de los elementos.		

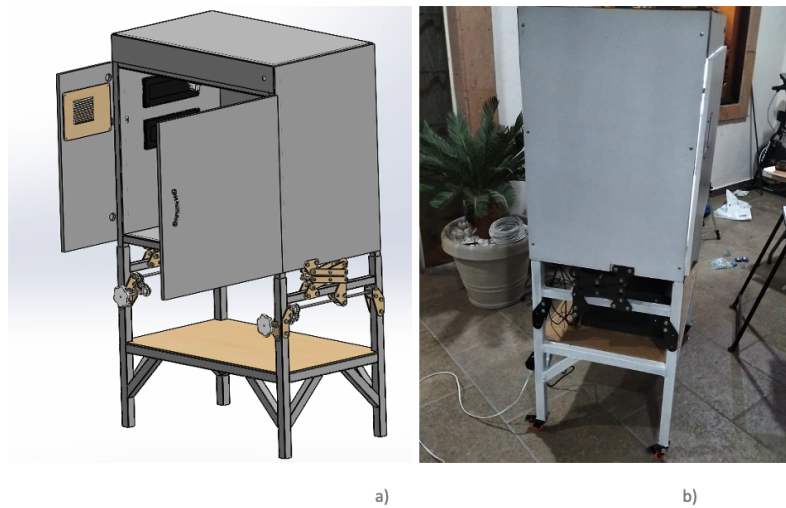


Figura 7: a) Vista en isométrico del modelo b) Vista lateral izquierda del modelo con enfoque en el sistema ergonómico. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se resumen los resultados del reconocimiento utilizando el *scrip* anterior en conjunto con la cabina de iluminación, se contrasta la imagen obtenida sin la cabina, así como los resultados arrojados por el sistema de reconocimiento. El eje de las 'x' representa el valor del pixel que va de cero a 255 (en cuanto a blanco y negro); mientras en que el eje de las 'y' representa la frecuencia de dicho pixel. Los tres objetos presentados en la Tabla 4 se deducen los siguientes hechos:

1. **ZAPATO DE REFERENCIA O CONTROL.** Se estudia un modelo sin la cabina de iluminación, se observa en el histograma una distribución alta de los tonos oscuros, además de que el fondo interfiere con el análisis pixel a pixel.
2. **BOTA.** En la bota se observó lo siguiente:

Bimodalidad: El histograma tiene dos picos principales, uno cerca de la parte baja (alrededor de 0-50) y otro hacia la parte más alta (150-200). Esto sugiere que la imagen contiene principalmente dos grupos de Píxeles: Un grupo de Píxeles oscuros (valores bajos, entre 0 y 50). Un grupo de Píxeles claros (valores alrededor de 150-200).

Valle en el centro: Entre los valores de 50 y 150, hay una disminución significativa en el número de Píxeles. Esto indica que la imagen tiene pocos tonos intermedios, lo que sugiere un alto contraste entre las áreas oscuras y claras.

Mayor concentración en el rango alto: Hacia el final del histograma (entre 150-200), hay un aumento en la cantidad de Píxeles, lo que sugiere que una gran parte de la imagen es relativamente clara o está iluminada.

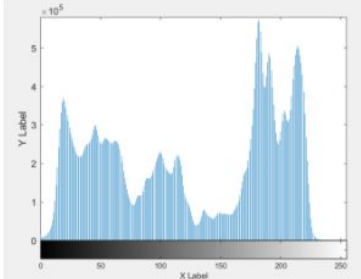
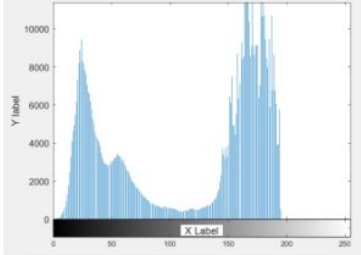
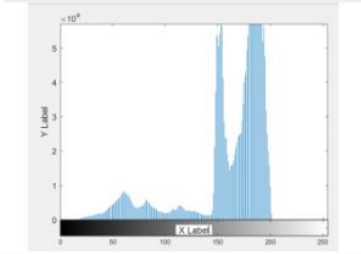
3. **BOTIN.** Para el segundo zapato de referencia se observó:

Predominancia de tonos claros (150-200): El histograma tiene dos picos muy marcados en el rango de 150 a 200 en el eje X, lo que indica que una gran parte de los Píxeles en la imagen tienen un brillo alto. Esto sugiere que la imagen está dominada por áreas bien iluminadas o claras. Los dos picos cercanos en este rango podrían representar la presencia de dos áreas prominentes con niveles de iluminación similares, pero no idénticos.

Tonos oscuros y medios (0-150): En la región entre 0 y 50, se observa un número relativamente bajo de Píxeles, lo que indica que solo una pequeña parte de la imagen contiene áreas oscuras o en sombra. Entre 50 y 150 hay una presencia moderada de Píxeles, lo que sugiere que la imagen tiene algunos detalles en tonos medios, pero no son predominantes en comparación con los tonos claros. Estos podrían representar áreas de transición o detalles de menor contraste en la imagen.

Baja variabilidad en tonos intermedios: A pesar de que hay una pequeña cantidad de Píxeles en el rango medio, no hay ningún pico importante en esta zona, lo que indica que los tonos intermedios no son muy destacados. Esto sugiere que la imagen tiene un contraste elevado, con mayor presencia de áreas claras y oscuras en lugar de tonos de transición suaves.

Tabla 3: Resumen de elementos, diseño y diseño final

Objeto a estudiar	Histograma de la imagen	Eficiencia del reconocimiento
		El sistema de reconocimiento no logra identificar adecuadamente al objeto de estudio ya que no se encuentra estandarizado el fondo de la imagen, el tamaño de las imágenes y la iluminación es muy variada. Resultado: No reconocido
		Se ingresó el modelo de la derecha al sistema de reconocimiento y encontró una semejanza con el modelo de 0.89. esto representa una coincidencia del 89% respecto a la semejanza pixel a pixel , del objeto de estudio y el modelo guardado en la Base de Datos.
		Se ingresó el modelo de niño en la base de datos del sistema de reconocimiento, al ser un modelo que se encuentra en la BD se reconoció con un índice del 92% de semejanza
		

Una vez desarrollado el prototipo, se procedió a la realización de las pruebas de funcionamiento. Durante estas pruebas, se obtuvo una imagen nítida, sin sombras ni ruido detectable a simple vista. El

micro interruptor funcionó correctamente, detectando cuando se abría y cerraba la puerta, lo que permitió encender y apagar la guía de luz de manera efectiva. Sin embargo, con el uso continuo, se observaron señales falsas generadas por el micro interruptor, lo que llevó a la necesidad de implementar una cerradura magnética para mejorar la precisión y fiabilidad del sistema. En cuanto a la estandarización de imágenes, se logró colocar los objetos de estudio en una posición similar gracias al uso de un láser. Además, se logró obtener un fondo uniforme y sin elementos extraños en las imágenes adquiridas, lo cual es esencial para el análisis de Pixel a Pixel. El fondo blanco resultante fue adecuado para este tipo de análisis.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha desarrollado un prototipo ergonómico para la estandarización de imágenes, cuya finalidad es mejorar la calidad y consistencia en la captura de imágenes para aplicaciones de procesamiento digital. El prototipo diseñado integra un sistema de iluminación controlada y un ajuste ergonómico que permite normalizar variables clave como la posición del objeto y la cámara, así como la iluminación, eliminando las interferencias causadas por factores externos. Los resultados obtenidos mediante pruebas de histogramas y análisis pixel a pixel han demostrado que el prototipo es eficaz en la estandarización de imágenes, lo que facilita el procesamiento posterior y mejora la precisión en el reconocimiento de objetos. El diseño ergonómico del sistema, que incluye un mecanismo de ajuste de altura y control de la iluminación, aporta una ventaja significativa al reducir la fatiga del operador y asegurar condiciones uniformes durante la captura de imágenes. Estas características convierten al prototipo en una herramienta robusta y flexible para diversas aplicaciones en visión artificial y procesamiento de imágenes, donde la precisión es crítica.

En términos de impacto, este proyecto proporciona una solución práctica para el desafío de obtener imágenes consistentes en entornos industriales o de investigación, donde las condiciones ambientales pueden afectar el rendimiento de los algoritmos de reconocimiento. Cabe mencionar que dicho prototipo es funcional y aplicable en las zapaterías, ya que su costo no es elevado y el diseño no es bromoso, lo que permite poder replicarlo para diferentes sucursales, ya que dichos elementos también llegaron a delimitar el alcance de esta investigación. Además, el prototipo tiene un gran potencial para ser aplicado en campos como la agricultura, la robótica y la inspección automatizada, donde la estandarización de imágenes es fundamental para la precisión de los análisis. Futuras investigaciones podrían enfocarse en la mejora de la versatilidad del prototipo, integrando tecnologías más avanzadas de reconocimiento de imágenes y ampliando su aplicabilidad a otros tipos de sensores. Además, la implementación de otros algoritmos de inteligencia artificial como redes neuronales directamente en el sistema de captura podría optimizar aún más los procesos de reconocimiento en tiempo real.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México por su contribución al desarrollo del presente proyecto dentro del marco de la convocatoria 2024: Proyectos de investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación.

Agradecemos al Consejo Nacional de humanidades, ciencias y Tecnología (CONAHCYT) en conjunto con el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón División de ingeniería Industrial y división de ingeniería en Sistemas Automotrices por su tiempo y apoyo para el desarrollo de esta investigación.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORES Y COLABORADORES

Marcela Palacios Ortega: elaboró conceptualización, software, Redacción y borrador original. **Luis Daniel Cruz Florez:** apoyo Metodología, administración del proyecto. **Lucero de Monserrat Ortiz-Aguilar:** apoyo en Investigación, validación, Redacción, revisión y edición. **Juan Francisco Mosiño:** realizó Análisis formal, Supervisión. **Merino-Torres A.K** apoyo en investigación.

REFERENCIAS

- [1] E. Cuevas, M. D. Cortés, y J. O. C. Méndez. *Tratamiento de imágenes con MATLAB*. Marcombo, 2018.
- [2] H. M. Ramirez, E. E. N. Núñez, y J. T. Salcedo. *Diseño para la fabricación y ensamble de productos soldados. Un enfoque metodológico y tecnológico*. Universidad del Norte, 2009.
- [3] J. Zhao, A. Chalmers, y T. Rhee. Adaptive Light Estimation using Dynamic Filtering for Diverse Lighting Conditions. *IEEE Trans Vis Comput Graph*, vol. 27, núm. 11, pp. 4097–4106, nov. 2021. doi: 10.1109/TVCG.2021.3106497.
- [4] V. Maza y G. Isamar. Procesamiento de imágenes usando OpenCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del cacao. 2017.
- [5] R. A. Bautista, P. Constante, A. Gordon, y D. Mendoza. Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para análisis de datos NDVI en imágenes espectrales de cultivos de brócoli obtenidos mediante una aeronave pilotada remotamente. *Infociencia, São Luís*, vol. 12, núm. 1, pp. 30–35, 2019.
- [6] S. A. J. Sebastián y T. V. C. Andrés. Prototipo de aplicación móvil para la identificación de mazorcas de cacao enfermas haciendo uso de visión por computadora y aprendizaje de máquina. 2020, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12749/13367>.
- [7] K. Ikeuchi *et al.* Visualization/AR/VR/MR Systems. 2020, pp. 213–239. doi: 10.1007/978-3-030-56577-0_9.
- [8] K. Ikeuchi *et al.* Robot Vision, Autonomous Vehicles, and Human Robot Interaction. 2020, pp. 289–303. doi: 10.1007/978-3-030-56577-0_12.

-
- [9] Y. T. Pérez. *Principios teórico-prácticos de ergonomía para el diseño y evaluación de herramientas, puestos de trabajo y máquinas*, vol. 51. Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC, 2022.
 - [10] L. S. Nogueira. Importancia de la ergonomía en el diseño de productos. *Actas de Diseño*, núm. 11, 2011.
 - [11] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, y S. N. Pawar. A review of PID control, tuning methods and applications. *Int J Dyn Control*, vol. 9, núm. 2, pp. 818–827, jun. 2021. doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.
 - [12] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, y O. Težak. Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, vol. 23, núm. 15, ago. 2023. doi: 10.3390/s23156739.
 - [13] K. Ikeuchi *et al.* Geometry. 2020, pp. 31–62. doi: 10.1007/978-3-030-56577-0_2.
 - [14] R. Parekh. *Fundamentals of IMAGE, AUDIO, and VIDEO PROCESSING Using MATLAB®*. First edition, Boca Raton: CRC Press, 2021. doi: 10.1201/9781003019718.
 - [15] P. Flores-Vidal, J. Castro, y D. Gómez. Pixel-by-pixel classification of edges with machine learning techniques. en *Machine Learning, Multi Agent and Cyber Physical Systems*, WORLD SCIENTIFIC, ene. 2023, pp. 218–227. doi: 10.1142/9789811269264_0026.