

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Desarrollo de un Sistema Basado en Visión por Computador y Algoritmos de
Optimización para la Resolución Eficiente del Problema de Empaquetado
Bidimensional (2D-BPP)**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Juan Javier Garzón Avila
Daniel André Peralta Ochoa

Director:



Dr. Iván Mendoza

CUENCA, ECUADOR

2026

DEDICATORIA

A mi madre, Marcela Ávila. Quien ha sido mi faro y apoyo incondicional en cada paso de este viaje. Gracias por enseñarme el verdadero valor de la perseverancia, la dedicación y, sobre todo, de la paciencia infinita. Tu confianza ciega en mí, desde el primer día, fue el motor que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles. Tus palabras de aliento y ese amor incondicional que siempre me has entregado son un refugio inagotable; estas líneas son apenas un humilde intento de plasmar la inmensa gratitud que siento por tu presencia fundamental en mi vida y en cada paso de mi carrera universitaria.

A mi padre, Marco Garzón. Por ser mi pilar y el testigo más fiel de mis triunfos y derrotas. Gracias por estar siempre a mi lado, entregándome todo lo que tenías a tu disposición sin dudarle un solo segundo. Tu apoyo incondicional ha sido mi mayor certeza. Aunque muchas veces te hablé de metas y proyectos complejos que quizás no te resultaban familiares, tu disposición para escucharme con atención, tu paciencia y tu mirada llena de orgullo me dieron el valor para no rendirme. Gracias por creer en mí y por ser ese refugio al que siempre puedo volver.

A mis abuelitos, Graciela Cuesta y Guillermo Ávila. Por ser mi refugio y apoyo incondicional en los momentos más determinantes de mi vida. Gracias por recibirme siempre con los brazos abiertos, por no negarme jamás un plato de comida y por alimentar no solo mi cuerpo, sino también mi espíritu con su amor. Gracias por recordarme siempre, con esa mirada llena de orgullo, lo felices que los hace ver la persona en la que me he convertido con el paso de los años. Atesoro en el corazón cada una de sus historias de vida, que no solo me distraían de las preocupaciones, sino que me enseñaron lecciones invaluable. Gracias por estar siempre para mí, por nunca decirme que no cuando los necesité y por ser el tesoro más grande que tengo.

A mi tía, Augusta Ávila. Por llevarme siempre en tu corazón y recordarme que, sin importar la distancia, siempre contaré con tu apoyo incondicional y el de toda tu familia. Gracias por el amor infinito que me has brindado a lo largo de mi vida y por ser mucho más que una tía: una verdadera segunda madre cuyo cariño, consejos y guía constante han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A mi hermana, Emilia Garzón. Por tu fe incondicional en mí. Gracias por creer que era capaz de lograrlo todo, desde resolver tareas de matemáticas hasta tus proyectos de robótica. Tu admiración fue mi mayor inspiración.

A mi pareja, Daysi Guamán. Quien más que apoyarme solo con palabras, lo hizo estando a mi lado en los laboratorios, en las noches de vela, en mis momentos de mayor estrés y en los de más felicidad. Gracias por ser más que mi pareja, mi refugio cuando más lo necesitaba. Por caminar junto a mí en cada paso de este trayecto, celebrar mis victorias y consolarme en mis derrotas. Tu amor, comprensión y paciencia infinita han sido mi mayor motor en este viaje; gracias por creer en mí y estar siempre a mi lado.

A mi amigo Daniel Peralta. Con quien he vivido grandes e inolvidables momentos durante estos cuatro años de universidad. Gracias por esas conversaciones sin filtros, por el apoyo mutuo en los momentos difíciles y por las risas. Valoro profundamente tu amistad. Te deseo los mayores éxitos en todo lo que venga.

— **Juan J. Garzón A.**

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios, quien iluminó mi camino y me supo guiar hasta aquí.

A mi padre, Ángel Martín Peralta Orellana, quien siempre ha estado apoyándome y dándome consejos para seguir adelante sin dejarme vencer por los obstáculos; él siempre ha sido un ejemplo de perseverancia y, sobre todo, de que nada es imposible si se hace con amor y honestidad.

A mi madre, Nelly Angélica Ochoa Molina, quien con su paciencia y sabiduría supo ayudarme en los momentos de mucha exigencia, guiándome con su amor incondicional para ser una persona responsable. A ella, la persona que más amo en la vida, le dedico todo el esfuerzo y trabajo realizado durante mi vida universitaria.

A mi hermano, Fernando David Peralta Ochoa, mi hermano que siempre está para mí y nunca me ha dejado solo; cuando mis padres no han estado, él ha sabido guiarme en todo lo que he necesitado y sé que siempre puedo contar con él de cualquier manera.

A mi hermano, Martín Israel Peralta Ochoa, quien siempre me ayudó a perseguir mis sueños y a aconsejarme sobre cómo conseguirlos. Le quiero dedicar este logro con mayor énfasis a él, porque hubiera querido que esté aquí compartiendo conmigo, junto a mi familia, toda mi vida universitaria y sobre todo este momento de mi vida. Sé que estás persiguiendo tus sueños y eso también me inspira para seguir persiguiendo los míos.

A mi abuela, Elva Azucena Molina Matute, quien con su cariño y amor estuvo siempre presente desde la distancia, apoyándome y alegrándose por todas mis metas alcanzadas.

Los amo mucho, familia, y esto se los dedico con todo el amor, cariño y esfuerzo que he puesto durante estos cuatro años.

A mi compañero y amigo, Juan Javier Garzón Ávila; juntos hemos podido hacer grandes cosas como este proyecto, hemos sufrido y hemos reído durante todos estos años. Te deseo suerte en tu vida profesional, que tengas muchos éxitos, amigo.

A mis compañeros de la facultad, personas que han sido siempre un apoyo en las buenas y en las malas, con quienes he aprendido mucho durante estos cuatro años; les deseo suerte y que cumplan todas sus metas.

A mis amigos María Alejandra Fernández y Sebastián Torres, mis amigos con quienes desde pequeños he compartido muchas de mis metas y logros a lo largo de mi vida; personas que sé que siempre estarán ahí para mí y que se alegran de que haya conseguido una meta más en mi vida. Quiero dedicarles esto también y me llenaría de orgullo que cumplan sus metas así como yo lo estoy haciendo.

Muchas gracias.

— Daniel A. Peralta O.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la **Universidad del Azuay** y a la **Escuela de Ingeniería Electrónica** por habernos brindado las herramientas y el entorno necesario para nuestra formación profesional.

Un reconocimiento especial a nuestro director de tesis, el **Dr. Iván Mendoza**, cuya guía experta, paciencia y rigor técnico fueron fundamentales para la culminación exitosa de este proyecto. Asimismo, agradecemos a todos los docentes que, a lo largo de nuestra trayectoria universitaria, compartieron su conocimiento y experiencia, contribuyendo significativamente a nuestro crecimiento académico.

Finalmente, extendemos nuestra gratitud a los sujetos de prueba que participaron en el protocolo experimental; su colaboración desinteresada fue la pieza clave para la validación y obtención de los resultados presentados en esta investigación.

DESARROLLO DE UN SISTEMA BASADO EN VISIÓN POR COMPUTADOR Y ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA RESOLUCIÓN EFICIENTE DEL PROBLEMA DE EMPAQUETADO BIDIMENSIONAL (2D-BPP)

Se ha diseñado e implementado una arquitectura automatizada para resolver el problema de empaquetado bidimensional (2D-BPP) integrando visión artificial y sensorica cinemática en una Raspberry Pi 5. El sistema mitiga la ineficiencia del acomodo manual mediante una estación de digitalización en tiempo real que extrae las dimensiones de los paquetes usando el espacio de color HSV e interrupciones infrarrojas. Tras digitalizar y obtener las medidas, se procede a evaluar cuatro algoritmos de optimización frente a la ejecución de 25 sujetos de prueba, el algoritmo genético se consolidó como la solución más robusta con una eficiencia del 89.44% en tiempos de sub-segundo. Pruebas estadísticas de Wilcoxon validan el empaquetado automatizado no solo eleva la densidad de ocupación en un 6.43% frente a un empaquetado manual, sino que recorta el tiempo operativo total en un 50.56%, demostrando una superioridad técnica determinante frente al criterio empírico tradicional en la logística industrial.

Palabras clave: Visión por Computador, Inteligencia Artificial, Optimización Combinatoria, Empaquetado Bidimensional, Metaheurística

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM BASED ON COMPUTER VISION AND OPTIMIZATION ALGORITHMS
FOR THE EFFICIENT RESOLUTION OF THE TWO-DIMENSIONAL BIN PACKING PROBLEM
(2D-BPP)**

An automated architecture has been designed and implemented to solve the two-dimensional bin packing problem (2D-BPP) by integrating computer vision and kinematic sensing on a Raspberry Pi 5. The system mitigates the inefficiencies of manual packing through a real-time digitization station that extracts dimensions using the HSV color space and infrared interrupts. Following the digitization and measurement acquisition phase, four optimization algorithms against the execution of 25 test subjects, the genetic algorithm emerged as the most robust solution, achieving an efficiency of 89.44% in sub-second times. Wilcoxon statistical tests validate that automated packaging not only increases occupation density by 6.43% compared to manual packaging but also reduces total operational time by 50.56%, demonstrating a decisive technical superiority over traditional empirical criteria in industrial logistics.

Keywords: Computer Vision, Artificial Intelligence, Combinatorial Optimization, Two-Dimensional Packaging, Metaheuristics