
Robot para la gestión del inventariado en la bodega de Impacta Comercializadora

Autores
Juan David Aarón
Nicolás Murillo
Samuel Arias

Director
Juan Camilo Acosta, PhD.

Cliente
Impacta Comercializadora S.A.S



Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Bogotá - Colombia, Diciembre de 2025

Índice

	Página
1. Introducción	1
2. Descripción del Problema	3
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo General	4
3.2. Objetivos Específicos	4
4. Requerimientos	5
4.1. Requerimientos funcionales	5
4.2. Requerimientos de efectividad	5
4.3. Requerimientos técnicos	5
4.4. Requerimientos mecánicos	6
4.5. Requerimientos logísticos	6
4.6. Requerimientos de usabilidad	6
5. Estado del Arte	7
6. Marco Teórico	11
6.1. Logística e inventariado	11
6.1.1. Conceptos generales de inventariado	11
6.1.2. Inexactitud del Registro de Inventario (IRI)	11
6.1.3. Tipos de divergencias y efectos operativos	11
6.1.4. Acumulación de errores y efectos en el tiempo	12
6.2. Visión artificial en la logística moderna	13
6.2.1. Reconocimiento y clasificación sin etiquetas	13
6.2.2. Aplicaciones industriales y procesamiento	13
6.2.3. Procesamiento embebido	14
6.2.4. Arquitectura en tiempo real y ROS	14
6.3. Robótica móvil	14
6.3.1. Sensado y LiDAR	14
6.3.2. SLAM y localización	15
6.3.3. Movilidad y plataformas con ruedas	15
6.3.4. Sensores utilizados en navegación	16
6.4. Internet de las Cosas (IoT) y comunicación de datos	16
6.4.1. Arquitectura del IoT	16
6.4.2. Protocolos y comunicación inalámbrica	17
6.4.3. MQTT y sistemas distribuidos	17
6.4.4. Análisis en la nube y toma de decisiones	17
7. Solución propuesta	19

8. Planeación del Trabajo	21
8.1. Diagrama de Gantt	27
9. Presupuesto	29
10. Estándares aplicados en el proyecto	30
11. Impacto Socio-económico y ambiental	32
Referencias	36

1. Introducción

La empresa **Impacta Comercializadora S.A.S.** tiene como objeto social el comercio al por menor en establecimientos no especializados, con una selección conformada por artículos de la canasta familiar. Dentro de sus actividades, es fundamental mantener una adecuada organización y gestión de todos los productos almacenados en su bodega, la cual cuenta con un área aproximada de 1000 m^2 .

En este trabajo se contemplará la problemática de la inexactitud en el Registro de Inventario (IRI). Esta se define como la discrepancia entre el inventario físico disponible y el inventario registrado en el sistema de información de la empresa [1].

La IRI perjudica la calidad de los procesos, la forma de gestionar las cantidades de inventario y, directamente, las ganancias. Las formas más comunes en que se presenta la IRI en una empresa son errores en los registros de venta, falta de formación del personal, devoluciones inesperadas, pedidos fantasma, robo, daños, obsolescencia, ubicación incorrecta del stock y la falta de procedimientos claros. Incluso una fuente minúscula e indetectable de IRI puede acumular imprecisiones y, con el tiempo, desequilibrar el sistema en un efecto bola de nieve. Unos valores bajos de IRI pueden dar lugar a pérdidas sustanciales de ventas y provocar pérdidas significativas en los beneficios empresariales [2].

Varios estudios demuestran que la IRI es un problema significativo en la práctica. Uno en específico, realizado por DeHoratius y Raman, observa inexactitudes en el 65 % de los 369,567 registros de inventario recopilados de 37 minoristas líderes en los Estados Unidos. Por ejemplo, en 2009, los minoristas de los Estados Unidos perdieron más de 33,000 millones de dólares solo por pérdidas de inventario, una de las varias causas fundamentales del IRI. Además, se ha estimado una reducción del 10 % en los beneficios debido a errores de inventario [1].

Existen dos tipos de divergencias: el *inventario fantasma*, cuando el inventario lógico registrado es mayor que el físico; y el *inventario oculto*, cuando el inventario lógico registrado es menor que el físico [2]. Estas diferencias entre el inventario físico y el registrado repercuten en la actividad comercial de la empresa y en los registros contables. “Esta discrepancia puede afectar profundamente el rendimiento de las empresas al generar pérdidas de ventas, penalizaciones por retrasos, reprogramaciones, una planificación subóptima y un mayor uso de vehículos de transporte pequeños, entre otros” [1].

El desfase entre lo que aparece en los registros y lo que realmente hay en la bodega no solo genera dificultades en la gestión de las operaciones del día a día, sino que también perjudica significativamente la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones de la empresa. Cuando los sistemas de reposición de stock se basan en datos equivocados, pueden generar órdenes tardías o innecesarias, lo que resulta en insuficiencia o exceso de mercancía. De hecho, se ha demostrado que una pérdida no detectada del 1 % frente a la demanda promedio puede traducirse en hasta un 17 % de ventas perdidas por desabastecimiento, lo cual deja en evidencia el efecto multiplicador que tiene la inexactitud sobre los ingresos [3].

Lo que la empresa desea obtener a través del proyecto es una manera de realizar el inventario minimizando la intervención humana, disminuyendo el tiempo requerido, facilitando la obtención de un inventario diario y, a través de un repositorio, almacenar los informes con la información de la mercancía para hacerle seguimiento y control. La solución propuesta implica tener en cuenta las políticas que maneja la bodega, como la logística de almacenamiento, el espacio disponible y un presupuesto acorde con el beneficio que obtiene la compañía al resolver el problema planteado.

La propuesta consiste en realizar una distribución fija y estratégica de las estibas y cajas que contienen la mercancía de la empresa. Esta distribución debe permitir mantener un rendimiento óptimo en las operaciones y, a su vez, facilitar la implementación de un prototipo de robot móvil que realice el inventario de la bodega mientras se desplaza a lo largo de los pasillos y contabiliza el inventario. El inventario se hará utilizando tecnología de análisis de imagen. La información obtenida será registrada en una plataforma en la nube mediante un sistema de IoT.

El proyecto está concebido en tres etapas. Durante la primera, se construirá el prototipo del robot, el cual será un AGV que tendrá cuatro ruedas omnidireccionales, motores de 12 voltios con su respectivo controlador y un chasis industrial. Se implementará un control distribuido que garantice la confiabilidad de la navegación y el desplazamiento. Para la comunicación entre microcontroladores, se utilizará un protocolo serial entre el controlador maestro, que será un Raspberry Pi 5 y el microcontrolador esclavo. Se utilizará una cámara para realizar el análisis de imagen y los posibles algoritmos que se usarán son *YOLO*, *Mask R-CNN* y *RetinaNet*. Para la estimación de posición y navegación, se pueden usar algoritmos de SLAM como *Hector SLAM*, *Cartographer* o *Gmapping*. Se usará un sensor LiDAR para realizar el mapeo de la bodega, sensores de ultrasonidos para evitar choques y encoders para controlar la velocidad y posición del AGV.

En el caso del software, el Raspberry pi tendrá como sistema operativo Linux, para ejecutar ROS que permitirá el control de navegación y la comunicación. Mediante MQTT se enviarán los datos a un broker IoT, donde se almacenan en una base de datos SQL.

En la segunda etapa, se estandarizará el proceso para realizar el inventario y finalmente se implementaría la base de datos que almacene los informes generados por el robot y que permita a la empresa tener la posibilidad de analizar sus estadísticas y tomar mejores decisiones logísticas.

El proyecto está planeado para finalizar en 25 semanas. La evaluación se realizará en una distribución fija de la bodega, haciendo que el robot realice una ruta determinada. Se medirá el tiempo de inventariado, la precisión en la detección de la mercancía, la capacidad para la detección de obstáculos y el consumo energético. También se tendrá en cuenta la estabilidad del robot y se confirmará la repetibilidad de los resultados del desempeño en cada prueba.

2. Descripción del Problema

Actualmente, la empresa cuenta con cuatro trabajadores dedicados al alistamiento de pedidos durante toda la jornada de trabajo. Sin embargo, se han identificado múltiples errores en los registros realizados de manera manual, tanto por defecto como por exceso, debido a la dependencia del criterio del operario y de los cálculos que cada uno efectúa. “La gestión de inventarios aún se realiza de manera manual en muchos casos, lo cual genera errores e inconsistencias en los registros” [4]. Estas imprecisiones ocasionan que los registros no reflejen con exactitud la realidad del inventario, principalmente por errores de digitación o información desactualizada, es decir, la situación que se conoce como IRI.

Dentro de la situación actual, la compañía ha notado varias situaciones que para la empresa representan pérdidas tanto económicas como de recursos. El primer gran problema es la desaparición de mercancía, ya que, según la contabilidad que tiene la empresa, los números no concuerdan con la realidad. Ellos se han dado cuenta que es usual tener menos cantidad de producto del que ellos solicitaron al proveedor, situación a la que ellos atribuyen posibles robos hormiga, que al ser habituales, terminan descompletando la mercancía y para la empresa se convierte en una pérdida importante. Otra situación de la que ellos se percatan es que, al no tener registros fieles a la realidad de su inventario, suelen pedir en exceso productos que si se encuentran en la bodega o que no necesitan para la temporada. Esto termina en arrumes por encima de la capacidad recomendada para que las cajas se conserven en un estado óptimo. Es decir, las decisiones de abastecimiento son más propensas a ser equivocadas al no tener datos confiables y terminan llenando la bodega por encima de su capacidad de almacenamiento, lo cual es otro tipo de recurso relevante para la compañía y que perjudica al cliente final que compra el producto y recibe el empaque en mal estado, que a su vez puede generar una perspectiva de que la empresa no mantiene los estándares de calidad.

Para la empresa Impacta Comercializadora es de gran importancia hacer frente a la problemática expuesta anteriormente. Debido a la alta rotación diaria de mercancía en su bodega, la amplitud de sus instalaciones y la gran diversidad de productos que comercializa, resulta un reto mantener actualizado el registro de cada movimiento de los productos. El cliente identifica que una de las principales causas de las inconsistencias en sus inventarios es la falta de un registro actualizado al finalizar cada jornada laboral. La falta de un historial de movimientos de mercancía, tanto dentro de la bodega como en las salidas de planta, no permite mantener un control preciso sobre la cantidad de cada producto almacenado, así como una distinción clara entre las diferentes variaciones de un mismo producto. Un ejemplo de esto sería la diferenciación entre un shampoo forte y un shampoo liso.

La intervención humana constante en el proceso de creación de registros y la ausencia de un sistema que permita conservar un historial confiable generan discrepancias entre el inventario físico y el inventario registrado. Esto dificulta obtener un conteo que refleje con precisión la realidad operativa de la empresa y limita la posibilidad de analizar adecuadamente el comportamiento y las estadísticas de los productos, así como lo plantea la siguiente cita: “La automatización del proceso de inventario reduce el error humano, acelera el procedimiento y mejora la precisión general de la gestión de almacenes” [3].

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Crear un sistema para gestión y monitoreo de inventario diario en la empresa Impacta Comercializadora SAS, asistido por un robot móvil para la recolección y transmisión de datos mediante IoT.

3.2. Objetivos Específicos

- Construir un prototipo de robot móvil que integre un sistema de navegación autónoma y que incorpore sensores para la lectura de códigos de barras junto con un módulo de comunicación WiFi, de tal manera que sea capaz de desplazarse por los pasillos de la bodega y recopilar información sobre el tipo de producto y la cantidad almacenada.
- Adecuar la infraestructura de la bodega con el fin de dar cumplimiento a las recomendaciones del proveedor y garantizar que tanto los operarios como el robot móvil tengan libre tránsito durante la ejecución de sus tareas.
- Implementar una base de datos con una interfaz visual que almacene la información recopilada por el robot móvil.
- Evaluar el desempeño de la propuesta comparando entre el inventariado tradicional y el inventariado asistido por el robot móvil, con métricas objetivo como el tiempo total de inventariado , tasa de error por producto y la eficiencia del proceso (ítems/min), con el fin de determinar el impacto real del sistema en la eficiencia operativa.”

4. Requerimientos

4.1. Requerimientos funcionales

- Realizar un informe diario con el inventario de la bodega al finalizar la jornada laboral.
- El prototipo deberá identificar y registrar correctamente los productos ubicados en las cajas que estén al exterior del arrume.
- Generar alertas cuando se detecten discrepancias entre el inventario físico y el registrado en la base de datos.
- Almacenar la información de cada producto con campos de: código, nombre, cantidad, ubicación y fecha de registro.
- Permitir la operación manual del robot en caso de mantenimiento o pruebas.
- Permitir la integración del sistema con el software de gestión actual de la empresa (Excel o ERP).
- El usuario deberá poder iniciar, pausar o detener el inventariado desde un panel de control.
- Los datos de inventario deberán subirse automáticamente a la base de datos en la nube mediante protocolo MQTT.
- El sistema deberá almacenar los datos localmente si la conexión WiFi se interrumpe y sincronizarlos al restablecerse.

4.2. Requerimientos de efectividad

- Reducir en al menos un 50 % los errores en el conteo de inventario respecto al método manual.
- El tiempo total de inventariado deberá ser menor a 2 horas.
- Establecer una conexión del robot a la red WiFi de la empresa para la transmisión automática de datos.
- La velocidad máxima del robot deberá ser de 0.5 m/s para garantizar seguridad en espacios reducidos.

4.3. Requerimientos técnicos

- El robot deberá incorporar una IMU (Unidad de Medición Inercial) para corrección de trayectoria y estimación de orientación.
- El sistema deberá contar con un interruptor físico de parada de emergencia.
- El sistema debe incorporar baterías recargables con autonomía mínima de 1 hora.

4.4. Requerimientos mecánicos

- El chasis deberá soportar una carga útil mínima de 15 kg (sensores, cámara, batería, electrónica).
- El sistema de tracción deberá garantizar el desplazamiento sobre superficies planas y con inclinaciones de hasta 5°.
- Los componentes mecánicos deberán diseñarse considerando un factor de seguridad mínimo de 1.5.
- Las dimensiones totales del robot no deberán exceder 50 cm × 40 cm × 40 cm para maniobrar entre estanterías.

4.5. Requerimientos logísticos

- No mezclar los productos alimenticios con los de aseo en la nueva distribución de la bodega.
- Asignar un espacio apropiado para el cargue y descargue de mercancía.
- Reorganizar las estanterías por categorías de producto y frecuencia de salida.
- Establecer una nomenclatura de zonas y pasillos.
- Implementar un sistema de registro digital centralizado accesible desde las estaciones de trabajo administrativas.

4.6. Requerimientos de usabilidad

- El robot deberá emitir señales luminosas o sonoras al inicio, durante el desplazamiento y ante la detección de errores.
- La interfaz de usuario deberá ser intuitiva para el personal que no tiene conocimientos técnicos avanzados.

5. Estado del Arte

Dentro de las soluciones que se han explorado para manejar el tema del inventario, se comenzará mencionando el dispositivo *WIND*. Este aparato se monta en los montacargas y tiene una cámara industrial, un sensor láser y un encoder. El propósito de esta solución es poder registrar el stock de manera ágil y sin contar unidad por unidad de la mercancía. Con este dispositivo se pudo acelerar el conteo alrededor de un 40 % comparado con el conteo manual, y a su vez se evitó que los trabajadores tuvieran que realizar el trabajo de hacer el conteo en las alturas, eliminando así el riesgo de caídas. El punto débil de esta solución radica en que una persona debe estar validando las imágenes que captura el dispositivo, por tanto, aunque es un gran avance en la manera de contar mercancía, no es un proceso automático [5].

La siguiente solución que se abordó fue la utilización de imágenes RGB-D y aprendizaje profundo y se utilizó el modelo *CycleGAN* para mejorar la calidad de las imágenes. Este estudio deseaba probar el reconocimiento de una caja cuando requería despaletización. Lo que se encontró es que sí se logró reconocer las cajas en los pallets de manera bastante confiable, facilitando la separación automática y optimizando el desempeño de los robots que realizan la tarea de despaletización [6]. Esta solución inspiró el uso de modelos de análisis de imagen para el desarrollo del inventario de Impacta Comercializadora.

Una solución llamativa para entender el uso de los microprocesadores y la computación para análisis de imagen se encuentra en el trabajo 'End-to-end solution for automatic beverage stock detection' donde implementaron un sistema con cámaras instaladas en los estantes y dispositivos Raspberry Pi para el procesamiento, y un modelo de detección con YOLOv2 que entrenaron con *transfer learning*. En este trabajo se alcanzó una exactitud en la detección de productos y huecos en las góndolas por encima del 98 %, superando ampliamente la del proceso manual. De esta solución resalta la escalabilidad del sistema y su capacidad de adaptación a diferentes tipos de tiendas. Esta iniciativa está pensada para retail y no requirió de una gran inversión [7].

Hoy en día, grandes empresas están aprovechando las plataformas digitales para mostrar a sus clientes la disponibilidad de productos, como Amazon con Buy with Prime, que les permite a los comercios electrónicos mostrar el inventario actualizado, o IKEA, que muestra directamente la cantidad de unidades disponibles de lo que se está buscando en sus tiendas virtuales [8]. Esta idea es de suma importancia para los comercios que poseen inventario físico y cuyos clientes deben solicitar los productos a través de plataformas virtuales. Los comercios solo pueden despachar a sus clientes productos que tienen disponibles, por tanto, es necesario conocer en tiempo real la mercancía que se tiene almacenada y los productos que se requieren solicitar a los proveedores para satisfacer la demanda.

También se exploró la automatización de la gestión del inventario utilizando tecnología RFID, que ha traído avances importantes en precisión y eficiencia. Un caso en el que se usó esta tecnología fue en 2025 dentro de la compañía automotriz PT Bap, donde montaron un sistema RFID conectado a un WMS. Antes de eso, el conteo mensual del inventario los obligaba a parar la producción ocho horas, lo cual generaba costos operativos elevados. Con la automatización lograron disminuir el tiempo de inventariado más del 80 % y la exactitud del stock alcanzó un 97 % aproximadamente [9].

Esta mejora fue posible gracias a que la empresa aplicó principios de *Lean Manufacturing* para eliminar actividades sin valor agregado, como registros duplicados, validaciones a mano y tiempos muertos en el conteo físico. Después, compararon sus resultados con los de Toyota

Motor Manufacturing Indonesia, donde al juntar las tecnologías RFID, WMS y ERP eliminaron totalmente el tiempo de parada durante el inventario y mantuvieron una trazabilidad continua de todas las piezas. En PT Bap lo fueron implementando poco a poco, comenzando en las áreas de recepción y avanzando hacia el despacho y la planificación centralizada, mostrando que era viable técnicamente y que la inversión se recuperaba en menos de tres años [9]. Aunque el registro ya esté digitalizado, actualizar el inventario depende de que alguien recorra físicamente el almacén para verificar qué hay. Esta situación ha impulsado el desarrollo de plataformas robóticas autónomas que pueden hacer estas inspecciones y moverse completamente solas.

La siguiente etapa fue explorar la integración de robots móviles en la realización de inventario. La intención del uso de la robótica dentro de la solución se da porque esta disciplina ha facilitado las tareas repetitivas dentro de la industria. Ahora mismo hay robots móviles con RFID o sistemas de visión que operan de forma autónoma por las bodegas haciendo inventario. Al conectar tecnologías IoT con bases de datos en la nube se puede visualizar en tiempo real el movimiento completo del inventario, lo cual mejora la trazabilidad y ayuda cuando hay que tomar decisiones"[3].

Un ejemplo de la integración de robots móviles autónomos dentro de las plantas industriales, es el prototipo que sacó Ford Otosan en 2022 en Kocaeli, Turquía [10]. Este robot utilizaba ROS (Robot Operating System) y lo diseñaron pensando en las líneas de ensamblaje de carros. Para la navegación utilizaba los encoders de los motores de las ruedas, una IMU y un escáner láser, y juntaba toda esa información con un filtro de Kalman extendido. Para afinar más la ubicación, utilizaron un algoritmo probabilístico, el *Adaptive Monte Carlo Localization* (AMCL), que le permitía mantener su ubicación así hubiera interferencia en los sensores o se alterara su entorno.

A lo largo de las pruebas mientras funcionaba la planta, el prototipo logró mantener errores pequeños en la localización, mostrando el éxito del ajuste fino de las covarianzas del EKF y a la redundancia en los sensores que permitieron obtener resultados más exactos y con menos probabilidad de error [10]. El trabajo realizado por Ford Otosan mostró la efectividad de la navegación autónoma y la necesidad de realizar pruebas directamente en condiciones reales de fábrica. Aunque se requiere el uso de laboratorios y simulaciones, es importante tener en cuenta la variabilidad de una planta industrial y factores como los operarios en movimiento, las máquinas trabajando y los espacios cambiantes a lo largo de la jornada. Adicionalmente, el sistema tenía una arquitectura modular que le permitió usar mapas previamente hechos y trayectorias basadas en puntos de referencia, por lo cual el robot se adaptó sin problema a los procesos que ya existían en la empresa, sin tener que modificar la infraestructura física.

Se investigó acerca de los desplazamientos de los robots móviles. Una de las formas en que se mueven por el entorno es por el suelo. Este método funciona muy bien en almacenes porque pueden moverse de forma segura y constante entre estantes, pasillos y zonas de carga. En 2025 diseñaron e implementaron un sistema de AMR pensado para operaciones logísticas internas, que incluía módulos de navegación con sensores lidar, odometría y detección de obstáculos en tiempo real. Estas plataformas están hechas para tareas como transportar mercancía internamente, reponer materiales y ayudar a los operarios, optimizando las rutas con algoritmos específicos para planificar trayectorias. Su arquitectura se basa en una base terrestre estable que les permite funcionar sobre superficies planas y en entornos estructurados, que es lo común en bodegas industriales. Además, se conectan con un software de gestión de almacenes para sincronizar datos de ubicación, flujo de materiales y espacios disponibles. El hecho de que puedan operar de manera continua y colaboren tanto con otros robots como con personas, las

hace herramientas muy útiles para automatizar tareas repetitivas. No obstante, su rendimiento depende de la accesibilidad física del almacén porque necesitan pasillos despejados y rutas definidas para navegar correctamente. Cuando se modifican esos espacios, es necesario ajustar el mapeo, la planificación y la lógica del desplazamiento, por tanto, lo mejor es mantener una estructura estable para evitar tareas adicionales [11].

Por otro lado están los sistemas robóticos aéreos, que han surgido como alternativa para hacer inventarios y destacan por su capacidad de capturar información visual desde arriba. En 2021 se implementó un sistema aéreo autónomo diseñado para almacenes con estanterías altas, que podía volar libremente por espacios extensos y escanear los estantes y volúmenes grandes con cámaras y sensores de navegación [12]. Esta alternativa permite llegar a sitios de difícil acceso para los robots que se desplazan por el suelo, sobre todo en estructuras altas o donde no hay mucho espacio para circular por el piso. La capacidad de volar les da a los robots una perspectiva completa de las superficies y volúmenes, que sirve para estimar cantidades.

Ahora bien, el uso de drones no es tan sencillo. Uno de los mayores retos es la estabilidad en el aire y el buen posicionamiento para capturar la información. Este desafío se complica en interiores donde no funciona el GPS, por eso, se utilizan sensores inerciales, técnicas de mapeo y localización simultánea (SLAM) con cámaras o lidar, y controladores que les garantizan volar correctamente aunque haya corrientes de aire u otras turbulencias en el entorno [12]. Otro gran inconveniente en el uso de drones es la duración de la batería. El hacer inventarios muy largos o en bodegas de gran extensión se dificulta porque es necesario realizar paradas para recargarlas o cambiarlas. También es importante garantizar la seguridad cuando hay personas trabajando dentro del espacio de operación del dron, especialmente si está volando a la altura de los operarios.

La elección entre los robots terrestres y los aéreos resulta dependiente del entorno en el que operará el dispositivo y de la complejidad de la tarea de inventariado. Los robots que transitan por el suelo rinden mejor cuando hay pasillos anchos y rutas claras. Estos se mueven de forma estable y, por lo general, su tiempo de operación es mayor. Los drones, en cambio, son mejores para almacenes con estanterías muy altas o espacios estrechos, porque desde el aire tienen una perspectiva más completa.

Por último, se analizó el uso de la visión artificial. Esta tecnología ha permitido inventariar mediante el análisis de las imágenes que capturan las cámaras. En 2019, se implementó un sistema de monitoreo automático de góndolas utilizando el modelo YOLO, que reconocía los productos y su ubicación en tiempo real [13]. Este sistema es útil para determinar mercancía faltante, mal posicionada y los momentos en los que hay que surtir, sin necesidad de la intervención de una persona. Este sistema es efectivo aunque las condiciones de luz cambien o parte de la vista esté obstaculizada. Al estar procesando imágenes de manera permanente, los registros quedan actualizados constantemente y así se evitan inspecciones. El algoritmo trabaja con una red neuronal convolucional que divide la imagen en partes y tiene la capacidad de identificar varios productos y su entorno dentro de una misma imagen. Este algoritmo utiliza menos recursos computacionales que otros métodos alternativos, por tanto, se puede correr en dispositivos sencillos y de bajo consumo, como microcontroladores tipo Raspberry Pi, sin necesitar infraestructura externa, lo que lo hace más útil en la práctica para entornos industriales. Para que el modelo sea robusto ante las variaciones de presentación de los productos, se usan técnicas de aumento de datos y se entrena el modelo de forma supervisada con grupos de imágenes que reflejan estas alternativas. Así, el sistema mantiene un buen rendimiento, aunque cambien las condiciones de operación y se presenten variaciones en la visualización de

los objetos [13].

En resumen, los trabajos e investigaciones abordados en esta sección muestran la posibilidad de automatizar el proceso de inventariado, y se presentan una variedad de tecnologías permiten hacerlo. Entre ellas la visión artificial, la robótica móvil y los sistemas RFID conectados a plataformas IoT. Sin embargo, la gran mayoría de las soluciones que existen en el mercado, están pensadas para grandes industrias y requieren inversiones altas, infraestructura avanzada y personal especializado. En este punto es donde surge el propósito del proyecto, donde la idea es adaptar esas tecnologías al contexto de las pequeñas y medianas empresas colombianas, armando un robot móvil autónomo con un presupuesto reducido y que combine visión artificial con comunicación IoT para hacer el proceso de inventariado. Esta solución busca ofrecer una alternativa que sea viable, escalable y pensada para la realidad industrial colombiana. Se busca aumentar la eficiencia operativa y disminuir los errores en el registro de inventarios.

6. Marco Teórico

6.1. Logística e inventariado

6.1.1. Conceptos generales de inventariado

En el sector logístico y la gestión de almacenes, realizar inventarios periódicos es fundamental para asegurarse de que las cantidades registradas en el sistema coincidan con lo que realmente hay en el almacén. Esta práctica es clave porque, con frecuencia, existen discrepancias que pueden afectar la operación diaria, la planificación y el reabastecimiento [14]. Las diferencias pueden surgir por errores en ventas, reposiciones, fallos en la sincronización de datos, errores en el conteo físico o incluso pérdidas y robos, lo que genera desequilibrios en el stock y pérdidas económicas [14].

El inventariado actúa entonces como un mecanismo de control que ayuda a identificar y corregir estas diferencias, además de evaluar la exactitud de los registros. Esto asegura que las decisiones logísticas se basen en información precisa y confiable, preservando la integridad de los procesos y contribuyendo al buen desempeño del almacén [14].

6.1.2. Inexactitud del Registro de Inventario (IRI)

A pesar de su importancia, la gestión de inventarios aún se realiza de manera manual en muchos casos, lo cual genera errores e inconsistencias en los registros[4]. Estas imprecisiones ocasionan que los registros no reflejen con exactitud la realidad del inventario, principalmente por errores de digitación o información desactualizada, situación que se conoce como Inexactitud en el Registro de Inventario (IRI). La IRI se define como la discrepancia entre el inventario físico disponible y el inventario registrado en el sistema de información de la empresa[1].

La IRI perjudica la calidad de los procesos, la forma de gestionar las cantidades de inventario y directamente las ganancias. Las formas más comunes para que se presente la IRI en una empresa son errores en los registros de venta, falta de formación del personal, devoluciones inesperadas, pedidos fantasma, robo, daños, obsolescencia, ubicación incorrecta del stock y la falta de procedimientos claros. Incluso una fuente minúscula e indetectable de IRI puede acumular imprecisiones y, con el tiempo, desequilibrar el sistema en un efecto bola de nieve. Unos valores bajos de IRI pueden dar lugar a pérdidas sustanciales de ventas y provocar pérdidas significativas en los beneficios empresariales [2].

Varios estudios demuestran que la IRI es un problema significativo en la práctica, ejemplo de esto es que en el 65 % de los 369.567 registros de inventario recopilados de 37 minoristas líderes en los Estados Unidos[14]. Por ejemplo, en 2009, los minoristas de los Estados Unidos perdieron más de 33.000 millones de dólares solo por pérdidas de inventario, una de las varias causas fundamentales del IRI. Además, se ha estimado una reducción del 10 % en los beneficios debido a errores de inventario [1].

6.1.3. Tipos de divergencias y efectos operativos

Existen dos tipos de divergencias: el *inventario fantasma*, cuando el inventario lógico registrado es mayor que el físico; y el *inventario oculto*, cuando el inventario lógico registrado es menor que el físico [2]. Estas diferencias entre el inventario físico y el registrado repercuten en la actividad comercial de la empresa y en los registros contables. “Esta discrepancia puede afectar profundamente al rendimiento de las empresas al generar pérdidas de ventas,

penalizaciones por retrasos, reprogramaciones, una planificación subóptima y un mayor uso de vehículos de transporte pequeños, entre otros” [1].

El desfase entre lo que aparece en los registros y lo que realmente hay en bodega no solo genera dificultades en la gestión de las operaciones del día a día, sino que también perjudica de frente la eficiencia y la rentabilidad de las operaciones de la empresa. Cuando los sistemas de reposición de stock se basan en datos equivocados, pueden lanzar órdenes tardías o innecesarias, lo que termina en insuficiencia o exceso de mercancía. De hecho, se ha demostrado que una pérdida no detectada del 1 % frente a la demanda promedio puede traducirse en hasta un 17 % de ventas perdidas por desabastecimiento, lo cual deja en evidencia el efecto multiplicador que tiene la inexactitud sobre los ingresos [3].

6.1.4. Acumulación de errores y efectos en el tiempo

El IRI debe entenderse como un fenómeno dinámico que cambia constantemente a lo largo del tiempo, no solo como una diferencia puntual entre lo que hay físicamente y lo que aparece en el sistema. Esta variabilidad provoca incertidumbre en la gestión logística, lo que afecta la confiabilidad de los sistemas de control y distorsiona la percepción real sobre la disponibilidad de productos. Por eso, la planificación de reabastecimientos y los indicadores que miden el desempeño operativo pueden verse afectados. Incluso puede ocurrir un efecto contrario: a pesar de que el nivel de inventario aumenta, la capacidad de respuesta ante la demanda disminuye porque las decisiones se basan en información desactualizada o inconsistente [15].

Desde el punto de vista operativo, las discrepancias en el inventario se dividen en dos grupos: errores que dependen de cada transacción y errores que ocurren de forma continua. Los primeros se asocian a eventos concretos (ventas, devoluciones o reposiciones) y tienen lugar cada vez que se realiza una transacción. Por otro lado, los segundos se encuentran ocultos, ya que se producen en movimientos internos no registrados, como por ejemplo, el deterioro de productos, las pérdidas físicas o vencimientos los cuales nunca se anotan. Este tipo de errores se acumulan en sistemas que no tienen un buen control, lo que hace que eventualmente el inventario físico del almacén y el inventario registrado diverjan cada vez más [15]. También, investigaciones recientes han revelado la presencia de las denominadas “diferencias positivas”, donde existe un mayor inventario físico que el reportado. Estas diferencias son consecuencia de la mala rotación y el sobre inventario generado por estas tienden a afectar la eficiencia operativa, y podría generar pérdidas indirectas debido a las unidades que se quedan sin vender. Los “productos fantasma” (artículos mal ubicados o escondidos en el almacén) hacen que la coordinación entre la selección y el despacho se pierda, y con ello la logística se vea afectada [16]. Las inexactitudes se deben en gran parte a errores de recepción, a errores de escaneado, a introducciones erróneas de datos o a problemas surgidos durante el empaquetado o fraccionamiento del producto. También se categorizan ubicaciones incorrectas, mal manejo o las pérdidas ocasionadas por robos o productos que superan su fecha de vencimiento. Estos dos componentes se solapan y potencian, por lo tanto, el efecto negativo del IRI sobre los costos y la eficiencia del transporte se multiplica [15].

Estándares para inventariado

En la gestión de inventarios se tienen estándares y mediciones adicionales a los ya mencionados. Se tienen por ejemplo normativas asociadas al manejo de pérdidas, deterioro o venci-

miento de existencias, errores de escaneo y ubicación incorrecta del stock, los cuales deben ser monitoreados sistemáticamente para darle mayor cantidad de información cuantitativa y cualitativa de donde provienen los desfases de inventario [1]. De igual forma, los estándares incluyen métricas orientadas a evaluar la confiabilidad del inventario, como la estabilidad temporal del registro y la consistencia entre ciclos consecutivos de conteo, parámetros que son usados para identificar la acumulación progresiva de errores y su propagación operativa [1]. Dentro de las métricas usadas, hay un grupo que mide la exactitud sistemática, es decir, cuánto se desvía en promedio el inventario registrado respecto al inventario físico. Estas métricas permiten detectar si el sistema comete errores constantes e identificar fallas que reaparecen una y otra vez [14]. También se usan indicadores relacionados con el desempeño logístico, que evalúan la eficiencia del flujo de trabajo. Por ejemplo, miden la efectividad de como se sincronizan los movimientos internos con las actualizaciones del sistema, algo fundamental para asegurar que los procesos de almacenamiento reflejen con precisión lo que está pasando con el inventario [15].

6.2. Visión artificial en la logística moderna

6.2.1. Reconocimiento y clasificación sin etiquetas

Una de las cualidades más importantes que poseen los operarios es la capacidad de distinguir y clasificar objetos para poder tomar decisiones. Esta habilidad necesita que el operario pueda observar y reconocer un patrón entre grupos de objetos, como lo puede ser la forma, el color, el tamaño o las etiquetas. Para poder replicar esta función por medio de sistemas automatizados, se puede recurrir a etiquetados como los códigos de barras, los códigos QR o las etiquetas RFID. Una implementación de sistemas con etiquetado requiere tener los sensores necesarios para leer estas etiquetas y exige una estricta estandarización para evitar errores, algo que no puede permitirse cualquier empresa y que incluso puede cambiar el flujo de trabajo [17].

Para evitar generar otro proceso de etiquetado y ser lo menos invasivo en un proceso, se puede recurrir al análisis de imagen, el cual permite detectar objetos, clasificarlos y localizarlos. En un ambiente industrial, lo que más interesa es localizar objetos, debido a que con este proceso se puede realizar un conteo de existencias. La implementación de un sistema de visión artificial permite tener diversos tipos de patrones para la detección de un objeto; por ejemplo, un patrón puede ser los códigos bidimensionales, mientras que otro puede ser la forma o las características físicas del objeto. Esto permite ser redundante y tener más precisión a la hora de detectar el objeto.

Una de las mayores ventajas de la visión artificial es reemplazar la detección manual, la cual puede ser poco precisa, lenta y, adicionalmente, no garantiza una eficiencia constante en este proceso. Además, los sistemas de visión artificial pueden operar de manera continua e ininterrumpida, sin depender de factores como la fatiga o la falta de atención.

6.2.2. Aplicaciones industriales y procesamiento

En este contexto, la visión artificial en entornos industriales permite integrar cámaras, sensores ópticos y algoritmos de procesamiento digital para realizar tareas como conteo, clasificación e inspección de productos de manera precisa y continua. Su aplicación en la manufactura inteligente contribuye a mejorar la eficiencia operativa y la calidad del proceso, al reducir

la intervención humana y optimizar los tiempos de respuesta del sistema. Estas tecnologías posibilitan la identificación de objetos mediante el análisis de características físicas, geometría o textura, garantizando una mayor consistencia en los resultados y una mejor trazabilidad dentro de las líneas de producción [18].

Los sistemas de visión artificial requieren la incorporación de cámaras de alta resolución para capturar imágenes nítidas y detalladas de los objetos, facilitando así una detección y clasificación precisa. Estas cámaras deben estar respaldadas por algoritmos avanzados de aprendizaje automático y *deep learning*, capaces de identificar características relevantes y adaptarse a las variaciones que puedan presentarse en iluminación, posición y condiciones ambientales [19].

6.2.3. Procesamiento embebido

Para poder contar con un procesamiento de imagen que brinde buenos resultados se necesita de un equilibrio entre la resolución de la cámara y la capacidad de procesamiento del microcontrolador utilizado. La utilización de cámaras con mayor resolución ofrece un nivel de detalle e información suficiente para identificar contornos, colores y formas de los objetos, sin embargo ignora otras variables como la memoria y tiempo de procesamiento [20]. La elección de esta resolución debe tener la nitidez necesaria para las etapas de segmentación y clasificación sin comprometer la velocidad de ejecución en aplicaciones donde se opere en tiempo real. No obstante para evitar comprar una cámara donde la resolución se encuentre limitada por hardware, lo más útil es utilizar cámaras de resoluciones altas donde se realice un preprocesamiento mediante técnicas de reducción controlada de tamaño y normalización de intensidad para evitar pérdidas de precisión [21].

En sistemas de bajo costo donde la capacidad de procesamiento sea limitada, el análisis de imagen se realiza directamente en el dispositivo de captura. Este método disminuye la latencia y la dependencia de servidores externos, permitiendo ejecutar tareas de detección, conteo y clasificación de manera autónoma [20]. Uno de los dispositivos que han demostrado que pueden procesar imágenes y aplicar algoritmos de aprendizaje en tiempo real es la raspberry pi [21].

6.2.4. Arquitectura en tiempo real y ROS

La arquitectura del sistema que realice el análisis de imagen debe permitir que los procesos de adquisición y análisis se ejecuten de manera simultánea sin interferir con otros procesos. Para esta tarea, los sistemas embebidos incorporan librerías optimizadas de visión artificial que facilitan la ejecución paralela de tareas de segmentación, filtrado y clasificación, una de las plataformas que puede permitir esta implementación es ROS. En este tipo de sistemas, el tiempo promedio de procesamiento por imagen puede mantenerse por debajo de un segundo, lo que resulta suficiente para el seguimiento de objetos o el conteo automatizado de productos en movimiento [20].

6.3. Robótica móvil

6.3.1. Sensado y LiDAR

En la robótica móvil es fundamental conocer la posición y el entorno que rodea a un robot; ya sea operado de forma manual o autónoma, es necesario obtener información por

medio de sensores, complementados con una estrategia de navegación que permita cumplir una trayectoria determinada. Una tecnología que cumple con las condiciones necesarias para explorar el entorno con alto nivel de detalle es el *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Esta tecnología se basa en la emisión de pulsos electromagnéticos que rebotan en los objetos del entorno y son recibidos por un detector. Mediante el cálculo del tiempo de vuelo de cada pulso, se puede estimar la distancia a los objetos; si este proceso se realiza en dos ejes, se obtiene un plano bidimensional que permite generar un mapa del entorno, siendo el principio más básico de este tipo de sensores [22].

6.3.2. SLAM y localización

El LiDAR cuenta con variantes como el sensor de tipo bidimensional y el tridimensional. La principal diferencia, además del número de ejes, radica en la cantidad de información que puede obtenerse. El sensor bidimensional, aunque más limitado, resulta especialmente útil en entornos cerrados por su bajo costo computacional y económico, mientras que el sensor tridimensional se utiliza ampliamente en espacios abiertos que requieren mayor nivel de detalle. En cualquier caso, el resultado final será una *nube de puntos* que debe ser procesada para generar un mapa o estimar una posición.

Uno de los métodos más utilizados para definir una posición y reconocer el entorno simultáneamente es el *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM). Este método se divide en dos grandes grupos: los *SLAM convencionales* y los *SLAM visuales*. El SLAM convencional puede emplear uno o más sensores, entre los más comunes se encuentran las *Unidades de Medición Inercial* (IMU), los sistemas de navegación por satélite (GNSS), los sistemas de posicionamiento global (GPS) y los sensores láser como el LiDAR. Uno de los métodos más utilizados en espacios cerrados que requieren baja complejidad computacional y alta precisión es el SLAM basado en un *Filtro de Kalman Extendido* (EKF-SLAM), que predice y corrige continuamente la posición del robot en función de las mediciones obtenidas por los sensores, manteniendo un modelo probabilístico del entorno [23].

6.3.3. Movilidad y plataformas con ruedas

Además de contar con un Sistema de navegación, un robot móvil tiene que contar con un método para poder desplazarse en el espacio. Para poder definir un mecanismo de movimiento es necesario definir el entorno donde se moverá el robot y el objetivo que tendrá el robot. Los entornos donde se puede mover los robots son el terrestre, aéreo y el acuático, y algunas de las finalidades que pueden tener son industriales, agronómicas, domésticas, de entretenimiento, etc. Para el caso de ambientes industriales cerrados, que cuentan con una distribución de mercancía plana, se puede considerar tener un robot que sea desplazado por ruedas.

Una de las soluciones para robots con tracción por ruedas son las bases de cuatro ruedas que destacan por su estabilidad y simplicidad mecánica. Este tipo de sistema puede clasificarse según el tipo de rueda y el modo de dirección que utilice. Entre las configuraciones más comunes se encuentran los robots con ruedas fijas, ruedas orientables, ruedas omnidireccionales y ruedas mecanum. Para robots que necesitan una movilidad completa en un plano las ruedas omnidireccionales son una de las mejores soluciones. Estas ruedas están compuestas por pequeños rodillos dispuestos en ángulo recto respecto al eje principal que permiten movimientos en cualquier dirección sin necesidad de cambiar la orientación del chasis, lo que las hace muy

útiles en espacios reducidos y para movimientos que requieren precisión. Un tipo de rueda omnidireccional más avanzada es la rueda mecanum, que incorpora rodillos inclinados a 45°, permitiendo desplazamientos laterales o diagonales de forma suave mediante el control independiente de cada rueda. Este tipo de configuración es muy utilizada en robots industriales y logísticos debido a su alta capacidad de maniobra, aunque tiene como desventaja un mayor consumo energético y una mayor complejidad en el control cinemático [24].

6.3.4. Sensores utilizados en navegación

El desempeño de un robot móvil depende en gran medida de su capacidad para percibir el entorno, razón por la cual los sensores constituyen uno de los componentes más importantes dentro de su arquitectura. Estos dispositivos permiten obtener información del espacio circundante y de su propio estado, lo que facilita la navegación, la detección de obstáculos y la localización **Bogu2022**.

Entre los sensores más utilizados se encuentran las cámaras RGB y RGB-D, los sensores ultrasónicos, los sensores inerciales (IMU), los encoders y los sensores de distancia basados en láser, como el *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Este último emite pulsos láser que se reflejan en los objetos del entorno, midiendo el tiempo de retorno para calcular la distancia. Gracias a este principio, el LiDAR puede generar representaciones tridimensionales conocidas como *nubes de puntos*, que sirven para construir mapas y estimar la posición del robot [24].

Los sensores ultrasónicos se emplean ampliamente en entornos cerrados por su bajo costo y simplicidad, siendo útiles para la detección de obstáculos a corta distancia, mientras que los encoders proporcionan información sobre el desplazamiento de las ruedas, esencial para el cálculo de la odometría. Las cámaras RGB-D, como la Intel RealSense o la Kinect, combinan visión y profundidad, lo que las hace apropiadas para el reconocimiento de objetos y la navegación autónoma en espacios con obstáculos variables [25].

El sistema *WIND*, propuesto como una solución semi-automatizada para conteo de inventarios, también emplea sensores de imagen industrial y un sensor láser que trabaja junto con un encoder, permitiendo la captura automática de información de estanterías. Esta combinación de sensores logra un conteo 40 % más eficiente que el manual y reduce los riesgos de seguridad al eliminar la necesidad de trabajo en altura [5].

El uso combinado de diferentes tipos de sensores permite compensar las limitaciones individuales de cada uno, mejorando la precisión del mapeo y la robustez del sistema frente a cambios en la iluminación o interferencias ambientales. Esta integración sensorial constituye la base de los sistemas modernos de navegación autónoma y de las aplicaciones logísticas basadas en robots móviles.

6.4. Internet de las Cosas (IoT) y comunicación de datos

6.4.1. Arquitectura del IoT

El *Internet of Things* (IoT) es como se le denomina a la tecnología que ha integrado la comunicación entre dispositivos de forma inalámbrica sin la intervención humana. El IoT ha transformado la manera en que algunos sistemas industriales y dispositivos recopilan, procesan y comparten información, permitiendo que dispositivos físicos como sensores, microcontroladores y actuadores se integren en redes digitales capaces de operar de forma coordinada. En el contexto de la gestión de inventarios, el IoT facilita la conexión entre robots, máquinas de

etiquetado, bases de datos y plataformas en la nube, garantizando un flujo continuo de información sobre el estado actual de los productos, tiempos de trabajo, ubicación de la mercancía y estados generales del inventario, permitiendo un inventario saludable y actualizado [26].

Las arquitecturas para el IoT considera la percepción, la red y la capa de aplicación. La capa de percepción recoge todos los sensores, actuadores y dispositivos que están integrados y que son capaces de obtener información del ambiente como temperatura, posición o presión. Esta capa es importante, ya que se encarga de crear el contacto directo entre el sistema digital y el entorno físico y la precisión y frecuencia de los datos obtenidos dependen del diseño de esta capa [27].

6.4.2. Protocolos y comunicación inalámbrica

La siguiente capa es la capa de red, esta tiene la función de transmitir datos mediante diferentes tecnologías inalámbricas, tales como WiFi, ZigBee, LoRa o Bluetooth. La elección del protocolo depende de factores como el alcance requerido, el consumo energético y la estabilidad necesaria para la conexión. Esta organización garantiza que la información fluya de manera eficiente desde los dispositivos hasta los sistemas que la procesarán y utilizarán. Finalmente, en la capa de aplicación, toda la información recopilada se procesa y se presenta a través de plataformas web, aplicaciones móviles o servicios en la nube, permitiendo que los usuarios supervisen, analicen y tomen decisiones desde cualquier lugar [27].

6.4.3. MQTT y sistemas distribuidos

Un protocolo muy importante dentro de IoT es MQTT, que se usa mucho en sistemas donde la conexión a internet es inestable o el ancho de banda es limitado. MQTT funciona con un modelo llamado publish/subscribe, lo que quiere decir que los dispositivos envían mensajes a canales específicos y solo reciben esos mensajes los clientes que están suscritos a esos canales. Esto facilita que el sistema crezca sin saturar los dispositivos y que las comunicaciones sean rápidas, algo fundamental para industrias y robótica móvil que necesitan un flujo constante de datos y comandos con poco costo [28].

6.4.4. Análisis en la nube y toma de decisiones

Los datos que los sensores de un robot móvil recopilan pueden ser enviados a la nube donde se almacenan y se analizan con bases de datos. Esto permite mantener un registro detallado del funcionamiento, crear reportes automáticos y encontrar patrones que serían imposibles detectar a simple vista. En logística, estos sistemas permiten monitorear el inventario en tiempo real, comparar lo que dice el registro con lo que hay físicamente, detectar fallos y prevenir problemas antes de que ocurran [29].

La implementación de IoT con robótica móvil permite crear sistemas de inventariado mucho más inteligentes, autónomos y flexibles. Al mantener comunicación constante entre sensores, actuadores, servidores en la nube y software, se pueden implementar funciones como alertas automáticas, actualización de rutas en tiempo real, cambio de tareas de forma dinámica, detección temprana de errores y sincronización con sistemas de gestión de almacenes (WMS). Esto convierte a la conectividad distribuida en un factor clave para hacer que las operaciones logísticas sean más ágiles, resistentes y basadas en datos. En conjunto, la integración de IoT y

robótica móvil está transformando profundamente la manera en que se controlan y optimizan los inventarios en bodegas y centros de distribución.

7. Solución propuesta

La propuesta de este proyecto consiste en diseñar y construir un robot móvil capaz de desplazarse por una bodega y realizar el inventario mediante análisis de imagen e identificación de códigos de barras. La información obtenida será registrada en una plataforma en la nube, conectada al robot a través de un sistema de *Internet of Things* (IoT). Para implementar esta solución se requiere estandarizar el proceso de almacenamiento de la bodega, ya que, al ser una solución donde se quiere disminuir la intervención humana, se debe reducir la variabilidad tanto como sea posible. Esto permite obtener los mejores resultados, sin tener imprevistos por mal funcionamiento o variables que no se tuvieron en cuenta al momento de plantear la solución. “Los principales objetivos del diseño de almacenes son reducir los costes de manipulación, mejorar la utilización del espacio y aumentar el nivel de servicio” [30].

La solución propuesta se plantea en tres etapas descritas a continuación:

En la primera fase se trabajará en el prototipo del robot. Esta fase está descrita en la Figura 1. Primero se realizará el diseño y posteriormente, su construcción. En el hardware se contempla como núcleo una Raspberry PI (MCU) que se encargará de todo el control del AGV; esta deberá procesar todo el algoritmo de navegación (SLAM). Por esta razón, tendrá como entradas un sensor LiDAR que podrá hacer el mapeo de la bodega, ultrasonidos ubicados rodeando el AGV, para que de forma complementaria con el LiDAR, evite choques. Para el movimiento del *Automated Guided Vehicle* (AGV) se usarán cuatro ruedas omnidireccionales, cada una contará con un motor de 12V con un controlador BTS7960. Para el control de los drivers se utilizará un microcontrolador independiente, con la finalidad de tener un control distribuido que garantice la confiabilidad de la navegación. Para la comunicación entre microcontroladores se utilizará un protocolo serial entre el controlador maestro (Raspberry Pi 5) y el microcontrolador esclavo. Adicionalmente tendrá Encoders en cada rueda para poder complementar el SLAM y poder controlar la velocidad y posición del AGV.

Otro componente de la solución que se contempla en la Figura 1 consta del software; para el cual el Raspberry pi tendrá como sistema operativo Linux, con la finalidad de ejecutar ROS para el control de navegación y la comunicación. Para el inventario se conectará una cámara que por medio de procesamiento y análisis de imagen estimará el número de cajas almacenadas. Debe usarse una cámara que cuente con la capacidad de tomar fotos en FULL HD, es decir, que tenga una resolución mínima de 1920×1080 píxeles para poder tener el margen suficiente para definir una resolución que resulte práctica. A la hora de la implementación, se deberá evaluar una resolución óptima, donde se equilibre el tiempo de procesamiento de la imagen y la precisión de los resultados obtenidos. La resolución óptima no se puede calcular debido a la cantidad de variables que afectan los resultados, como la iluminación, las formas, el color y el tiempo de procesamiento, que puede variar dependiendo de los algoritmos de reconocimiento de imagen y de movimiento espacial.

Las opciones de algoritmos que se pueden implementar para el análisis de imagen son *YOLO*, *Mask R-CNN* y *RetinaNet*, los cuales son reconocidos por detectar elementos en una imagen con alta precisión y bajo tiempo de procesamiento. La elección del algoritmo dependerá de los resultados que se puedan obtener con cada uno, buscando siempre un equilibrio entre velocidad, precisión y robustez frente a cambios en el entorno. Para la estimación de posición y navegación, se pueden usar algoritmos de SLAM como *Hector SLAM*, *Cartographer* o *Gmapping*, debido a su capacidad para generar mapas y localizar el AGV en tiempo real por medio de la plataforma de ROS.

En la segunda fase se busca organizar la bodega y estandarizar los procedimientos relacionados con la creación del inventario. De esta manera, la capacidad del operario no afectará el proceso de inventariado. Se espera mejorar la distribución de las estibas y adecuar las áreas de almacenamiento y de trabajo, ya que actualmente no se cumplen con las recomendaciones que el proveedor Unilever entrega a la distribuidora para conservar las cajas en un estado óptimo. Se busca definir los procesos de recepción, almacenamiento y despacho de mercancía, garantizando así un entorno apropiado para el desplazamiento del robot.

El primer paso para implementar la estandarización es realizar una redistribución de la bodega. Con esto se lograría tener una ubicación fija para cada tipo de producto y distinguir entre las cajas llenas y las cajas incompletas. Estas ubicaciones deben tener en cuenta la distancia a los puntos de salida y de entrada y los recorridos que se realizan con frecuencia dentro de la planta [31]. “La política de almacenamiento dedicado a la locación de los productos de alta rotación debe buscar las mejores ubicaciones. Los productos se clasifican según una regla basada en la demanda y las ubicaciones se clasifican en función de la distancia al punto de entrada/salida y, a continuación, los mejores productos se asignan a las mejores ubicaciones” [31].

Además, el proceso de inventariado se dividirá en dos partes: el inventario de unidades completas, que estará a cargo del robot, y el inventario de unidades incompletas, a cargo de un operario.

El otro componente de la solución que se muestra en la Figura 1 corresponde a la etapa 3 del proyecto, la cual es la transmisión y almacenamiento de datos para el diseño de un dashboard que muestre las estadísticas requeridas por la empresa. Para la comunicación se envían los datos mediante MQTT a un broker IoT, desde donde se almacenan en una base de datos SQL. Adicionalmente, un Gateway de Power BI ofrecerá la visualización de métricas clave como el IRI, tiempo de inventariado, número de cajas por referencia y tendencias de venta de manera actualizada.

Los resultados del proyecto se evaluarán en función de la efectividad de la solución para la empresa; por ejemplo, actualmente realizar el inventario tarda entre 3 y 4 horas y se efectúa de manera parcial o por secciones semanalmente debido a la complejidad de la tarea. Lo que se espera es que se pueda realizar un inventario completo de manera diaria al final de cada jornada laboral. Así mismo, se desea implementar una base de datos con la información del producto y el lugar en que se ubica dentro de la bodega. Esto permitirá que la empresa tenga datos coherentes con la realidad de su mercancía y así, analizar tendencias y supervisar los movimientos asociados a la actividad de la compañía. Para evaluar el correcto funcionamiento del robot se hará en una distribución de la bodega fija como entorno de evaluación, donde el robot tendrá una ruta determinada con distintas cantidades de productos. El robot realizará el recorrido una cantidad determinada de veces, donde se deberá medir el tiempo en el que se realiza el inventario, la precisión en la detección de mercancía, la capacidad de detección de obstáculos y el consumo energético. Durante la evaluación se censará a lo largo del recorrido los voltajes de operación de los motores, el *State of Charge* (SOC), la temperatura de los componentes más importantes como el microprocesador y la batería, y la respuesta de los sensores ante diferentes condiciones del entorno. También se tendrá en cuenta la estabilidad del robot durante el movimiento para detectar posibles desviaciones a lo largo de la trayectoria, y se confirmará la repetibilidad de los resultados del desempeño en cada prueba. Se incluirán distintas condiciones para las pruebas con el fin de cerciorarse acerca de la robustez del sistema.

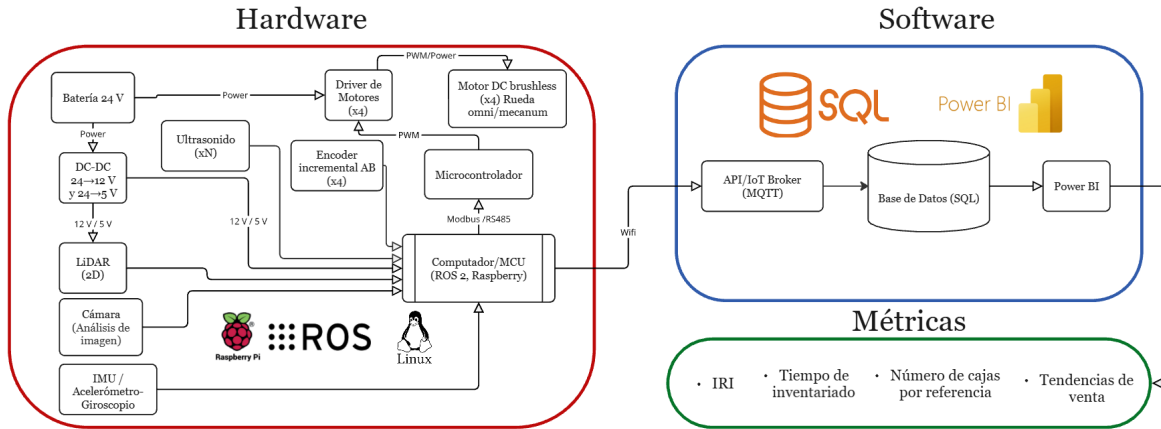


Figura 1: Arquitectura del sistema del robot y la conexión con la red

8. Planeación del Trabajo

La estructura del proyecto está planteada en tres grandes etapas, orientadas a la obtención de un sistema de gestión y monitoreo de los inventarios de la bodega de Impacta Comercializadora. La primera etapa se centra en el desarrollo de una solución tecnológica, basada en la robótica móvil. Las actividades de esta etapa se asocian a la obtención del primer objetivo del proyecto, el cual consiste en un robot que a través de análisis de imagen, recopile los datos de los productos de la bodega para crear el inventario.

La segunda etapa del proyecto corresponde al segundo objetivo, el cual consiste en realizar una redistribución y adaptación de la bodega con el fin de que los productos mantengan un orden lógico, manteniendo ubicaciones fijas, y así disminuir la variabilidad del entorno, para que la solución de obtener el inventario a través de un robot tenga un mejor resultado. Esta adaptación de la bodega busca que las actividades productivas se sigan realizando de manera apropiada y en los tiempos requeridos. También se pretende cumplir con las recomendaciones del proveedor para garantizar el adecuado estado de conservación de los productos.

Finalmente, la tercera etapa del proyecto consiste en implementar una base de datos en cumplimiento del tercer objetivo. Esta permitirá el almacenamiento estructurado de todos los datos y tener un registro histórico de los inventarios requeridos por la empresa para su seguimiento y análisis.

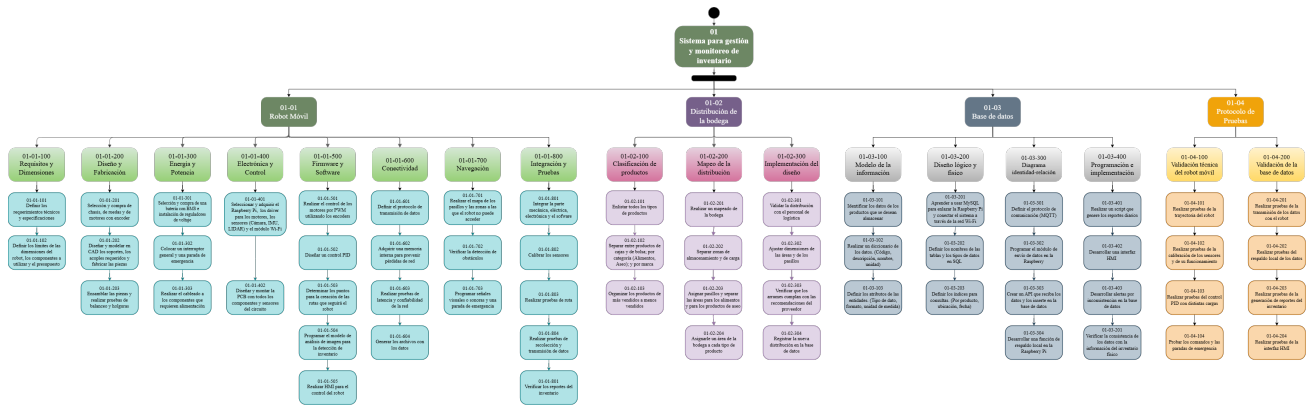


Figura 2: Descomposición de las actividades

A continuación, se presentan las descripciones de las subtarefas descompuestas en actividades, un costo estimado basado en los recursos físicos y digitales y en el tiempo trabajado, los recursos que se usarían para realizar cada actividad, el tiempo estimado en horas para llevarlas a cabo, los responsables de hacer cumplir cada una y la identificación de posibles riesgos que pueden afectar su resultado y por tanto, se deben tener en cuenta al momento de planear la tarea.

Tabla 1: Costos y recursos asociados al desarrollo del robot móvil (I).

Actividad	Costo estimado (COP)	Recursos	Tiempo (h)	Responsable	Riesgos asociados
Definir los requerimientos técnicos y especificaciones	\$210.000 (6h est. + 1h consultor)	Reunión con cliente/director, hoja de requisitos	7	El grupo	Requisitos incompletos o cambiantes; falta de alineación con el cliente.
Definir los límites de las dimensiones del robot, los componentes a utilizar y el presupuesto	\$135.000 (= 5h est. + 0.5h consultor)	Planos de pasillos, catálogo de partes, hoja de cálculo de costos	5.5	El grupo	Calcular mal el espacio, estimar mal el consumo; componentes fuera de stock.
Selección y compra de chasis, de ruedas y de motores con encoder	\$990.000	Búsqueda de proveedores, órdenes de compra, seguimiento	6	El grupo	Retrasos de entrega; incompatibilidad mecánica.
Diseñar y modelar en CAD los soportes, los acoples requeridos y fabricar las piezas	\$400.000	CAD (SolidWorks), impresora 3D/taller, tornillería	15	Samuel Arias y Juan Aarón	Tolerancias erróneas; reimpresiones; retrasos de los proveedores y talleres.
Ensamblar las piezas y realizar pruebas de balanceo y holguras	\$120.000	Herramientas, prensas, nivel, tornillería	8	Samuel Arias y Juan Aarón	Desalineaciones; vibraciones; necesidad de retrabajo.
Selección y compra de una batería con BMS e instalación de reguladores de voltaje	\$260.000	Fichas técnicas, BMS, DC-DC, multímetro	4	El grupo	Autonomía insuficiente; sobrecalentamiento; mala regulación.
Colocar un interruptor general y una parada de emergencia	\$75.000	Botón E-stop, interruptor, cableado, crimpadora	3	Juan Aarón	Fijación deficiente; fallo del E-stop; riesgo eléctrico.
Realizar el cableado a los componentes que requieren alimentación	\$90.000	Cables, conectores, funda termoencogible, tester	6	Juan Aarón	Cortos; ruido eléctrico; mala gestión de tierra.
Seleccionar y adquirir la Raspberry Pi, los driver para los motores, los sensores (Cámara, IMU, LIDAR) y el módulo Wi-Fi	\$3.000.000	Cotizaciones, compatibilidad, compras, recursos de la universidad	6	El grupo	Falta de stock; versiones incompatibles; tiempos de envío.
Diseñar y montar la PCB con todos los componentes y sensores del circuito	\$440.000	Altium, PCB, cautín, osciloscopio	16	Samuel Arias y Juan Aarón	Errores de ruteo; componentes mal seleccionados; necesidad de mandar a hacer otra PCB.
Realizar el control de los motores por PWM utilizando los encoders	\$105.000	MPLAB, motores, banco de pruebas	7	Juan Aarón y Nicolás Murillo	Lecturas ruidosas; saturación de PWM; inestabilidad.
Diseñar un control PID	\$75.000	Matlab	5	Juan Aarón y Nicolás Murillo	Mala sintonía; oscilaciones; sobretiempos.

Tabla 2: Costos y recursos asociados al desarrollo del robot móvil (II).

Actividad	Costo estimado (COP)	Recursos	Tiempo (h)	Responsable	Riesgos asociados
Determinar los puntos para la creación de las rutas que seguirá el robot	\$60.000	Plano de bodega, software para programar el robot	4	Samuel Arias y Juan Aarón	Cobertura incompleta; rutas no óptimas; fallos en la programación.
Programar el modelo de análisis de imagen para la detección de inventario	\$1.035.000 (= 45h est. + 3h consultor)	OpenCV, dataset, cámara, imágenes	48	El grupo	Iluminación variable; falsos positivos/negativos.
Realizar HMI para el control del robot	\$105.000	LabView	7	Juan Aarón	Interfaz confusa; fallos de comunicación en los controles.
Definir y aprender a usar el protocolo de transmisión de datos	\$255.000 (= 9h est. + 1h consultor)	MQTT/HTTP, broker de prueba, documentación	10	Samuel Arias y Juan Aarón	Latencias; pérdidas de paquetes; configuración insegura.
Adquirir una memoria interna para prevenir pérdidas de red	\$115.000	microSD	1	El grupo	Corrupción por cortes; vida útil insuficiente.
Realizar pruebas de latencia y confiabilidad de la red	\$30.000	Ping/iperf, logger, escenarios con interferencia	2	Samuel Arias y Juan Aarón	Congestión Wi-Fi; caídas del AP; jitter alto.
Generar los archivos con los datos	\$60.000	Scripts CSV/JSON/PDF, cron jobs	4	Juan Aarón y Nicolás Murillo	Formatos inconsistentes; error con los datos; error con la transmisión de los archivos.
Realizar el mapa de los pasillos y las zonas a las que el robot no puede acceder	\$60.000	Software para programar el robot	4	Samuel Arias y Juan Aarón	Omisión de áreas; errores en la creación de mapeado; medidas incorrectas; fallo en los sensores.
Verificar la detección de obstáculos	\$45.000	Software para programar el robot, métricas de distancia	3	Samuel Arias y Juan Aarón	Zonas muertas; falsas detecciones; colisiones.
Programar señales visuales o sonoras y una parada de emergencia	\$80.000	LED/buzzer, rutinas de estado/error	4	Juan Aarón y Nicolás Murillo	Señales poco perceptibles; falsa activación; error en la programación.
Integrar la parte mecánica, eléctrica, electrónica y el software	\$300.000 (= 11h est. + 1h consultor)	Banco de integración, herramientas	12	El grupo	Incompatibilidades entre módulos; errores en las medidas y tolerancias; componentes dañados o no apropiados.
Calibrar los sensores	\$195.000 (= 5h est. + 1h consultor)	LiDAR, cámaras, multímetro	6	Juan Aarón y Nicolás Murillo	Errores en las mediciones; recalibraciones frecuentes.

Tabla 3: Costos y recursos asociados a la distribución de la bodega.

Actividad	Costo estimado (COP)	Recursos	Tiempo (h)	Responsable	Riesgos asociados
Enlistar todos los tipos de productos	\$45.000	Computador con acceso al inventario, hojas de cálculo	3	Nicolás Murillo	Información incompleta o desactualizada; duplicidad de productos.
Separar entre productos de cajas y de bolsa; por categoría (Alimentos, Aseo); y por marca	\$22.500	Software de gestión o Excel, base de datos de productos	1.5	Nicolás Murillo	Clasificación incorrecta; errores por nombres similares; inconsistencias entre categorías.
Organizar los productos de más vendidos a menos vendidos	\$15.000	Reportes de ventas, Excel o Power BI	1	Nicolás Murillo	Datos de ventas incompletos; desabastecimiento de productos menos vendidos; errores en ordenamiento.
Realizar un mapeado de la bodega	\$60.000	Cinta métrica, distanciómetro láser, plano base, SolidWorks	4	Nicolás Murillo	Mediciones inexactas; ignorar productos que tienen mayor rotación; dificultad de acceso a ciertas zonas.
Separar zonas de almacenamiento y de carga	\$30.000	Plano de la bodega, criterios de flujo logístico	2	Nicolás Murillo	Interferencia con zonas de tránsito; aumento en los tiempos de traslado.
Asignar pasillos y separar las áreas para los alimentos y para los productos de aseo	\$45.000	Plano base editable en SolidWorks, Excel	3	Nicolás Murillo	Superposición de zonas; espacio insuficiente o mal aprovechado; reubicaciones posteriores.
Asignarle un área de la bodega a cada tipo de producto	\$60.000	Plano, listado de productos y volumen promedio	4	Nicolás Murillo	Espacio mal dimensionado; zonas saturadas; errores en almacenamiento.
Validar la distribución con el personal de logística	\$60.000	Reunión con personal, mapa	4	Samuel Arias	Retrasos por disponibilidad del personal; desacuerdos; necesidad de rediseño.
Ajustar dimensiones de las áreas y de los pasillos	\$30.000	SolidWorks, criterios de seguridad y flujo	2	Nicolás Murillo	Errores de cálculo; restricciones físicas de la bodega; conflictos con la estructura.
Registrar la nueva distribución en la base de datos	\$60.000	Computador, software de base de datos, conexión Wi-Fi	4	Samuel Arias	Fallas de copias de seguridad; no cifrar información sensible.

Tabla 4: Costos y recursos asociados al desarrollo de la base de datos.

Actividad	Costo estimado (COP)	Recursos	Tiempo (h)	Responsable	Riesgos asociados
Identificar los datos de los productos que se desean almacenar	\$75.000	Requerimientos, entrevistas cortas, revisión de listas/ERP/Excel	5	Nicolás Murillo y Samuel Arias	Datos incompletos o duplicados; campos que cambian con el tiempo.
Realizar un diccionario de los datos (código, descripción, nombre, unidad)	\$75.000	Excel/Docs	5	Nicolás Murillo y Samuel Arias	Ambigüedades en definiciones; falta de coherencia entre datos; códigos mal asignados.
Definir los atributos de las entidades (tipo de dato, formato, unidad de medida)	\$75.000	Modelo conceptual preliminar, guía de tipos SQL	5	Nicolás Murillo y Samuel Arias	Tipos de datos mal dimensionados; pérdida de precisión o recortes en los datos.
Aprender a usar MySQL para enlazar la Raspberry Pi y conectar por Wi-Fi	\$150.000	MySQL Server/Client, librería Python o C, pruebas en LAN	10	Samuel Arias	Problemas de drivers o paquetes; puertos bloqueados.
Definir los nombres de las tablas y los tipos de datos en SQL	\$45.000	MySQL Workbench/DDDL, convenciones de nombres	3	Samuel Arias	Inconsistencias de los nombres; claves mal elegidas.
Definir los índices para consultas (por producto, ubicación, fecha)	\$60.000	Plan de consultas, EXPLAIN, pruebas con datos de ejemplo	4	Samuel Arias	Índices innecesarios o insuficientes.
Definir el protocolo de comunicación (MQTT)	\$105.000	Broker, QoS	7	Samuel Arias	Seguridad débil; mensajes duplicados.
Programar el módulo de envío de datos en la Raspberry	\$330.000 (14h est. + 1h consultor)	C++, cliente MQTT	15	Samuel Arias	Pérdida de paquetes; reconexión deficiente; errores de código.
Crear un API que reciba los datos e inserte en la base de datos	\$345.000 (15h est. + 1h consultor)	Flask/FastAPI/Node, conexión MySQL	16	Samuel Arias	Validación insuficiente; error en la transmisión de datos; datos erróneos.
Desarrollar una función de respaldo local en la Raspberry Pi	\$45.000	Archivos locales, memoria externa, C++	3	Samuel Arias	Pérdida de datos; conflictos al sincronizar.
Realizar un script que genere los reportes diarios	\$120.000	SQL de agregación, exportación CSV/PDF	8	Samuel Arias	Reportes desalineados con la fecha; formatos inconsistentes; datos erróneos.
Desarrollar una interfaz HMI	\$120.000	UI web sencilla (HTML)	8	Samuel Arias	Usabilidad baja; permisos mal definidos; errores de la interfaz; interfaz muy compleja.
Desarrollar alertas por inconsistencias en la base de datos	\$60.000	Reglas (triggers), email, C++	4	Samuel Arias	Falsos positivos; ruido de alertas; omisión de casos positivos.

Tabla 5: Costos y recursos asociados a la etapa de evaluación y pruebas.

Actividad	Costo estimado (COP)	Recursos	Tiempo (h)	Responsable	Riesgos asociados
Verificar que los arrumes cumplan con las recomendaciones del proveedor	\$45.000	Recomendaciones de cada tipo de arrume, cinta métrica, cámara fotográfica	3	El grupo	Incumplimiento de condiciones de almacenamiento; necesidad de rediseño; falta de espacio en la bodega.
Verificar la consistencia de los datos con la información del inventario físico	\$150.000	Robot móvil, base de datos, reportes de inventario físicos, computador	10	El grupo	Discrepancias entre inventario físico y digital; errores de lectura.
Realizar pruebas de la trayectoria del robot	\$120.000	Robot móvil, cronómetro, plano de la bodega, sensores calibrados	8	El grupo	Desviaciones de trayectoria; errores de navegación; obstáculos no detectados.
Realizar pruebas de la calibración de los sensores y de su funcionamiento	\$60.000	IMU, LIDAR, cámara, software de calibración y herramientas de medición	4	El grupo	Lecturas inestables; mala calibración; interferencias en sensores por ruido.
Realizar pruebas del control PID con distintas cargas	\$60.000	Robot móvil, cargas de prueba	4	El grupo	Oscilaciones; sobretiempos; saturación del actuador.
Probar los comandos y las paradas de emergencia	\$60.000	Control HMI, botón de parada de emergencia, sistema de seguridad	4	El grupo	Falla del sistema de emergencia; errores en el código de parada.
Realizar pruebas de la transmisión de los datos con el robot	\$150.000	Raspberry Pi, red Wi-Fi, servidor de base de datos, PC de monitoreo	10	El grupo	Pérdida de conexión; fallos de sincronización; datos incompletos.
Realizar pruebas del respaldo local de los datos	\$90.000	Raspberry Pi, memoria SD, red Wi-Fi, servidor de base de datos	6	El grupo	Pérdida de datos; fallos en la sincronización; corrupción de archivos.
Realizar pruebas de la generación de reportes del inventario	\$120.000	Base de datos, reportes CSV/PDF, computador	8	El grupo	Errores en formato; datos incompletos o duplicados; inconsistencia temporal.
Realizar pruebas de la interfaz HMI	\$90.000	Interfaz de usuario, computador, conexión Wi-Fi	6	El grupo	Fallos de comunicación; interfaz poco intuitiva; retrasos en respuesta.

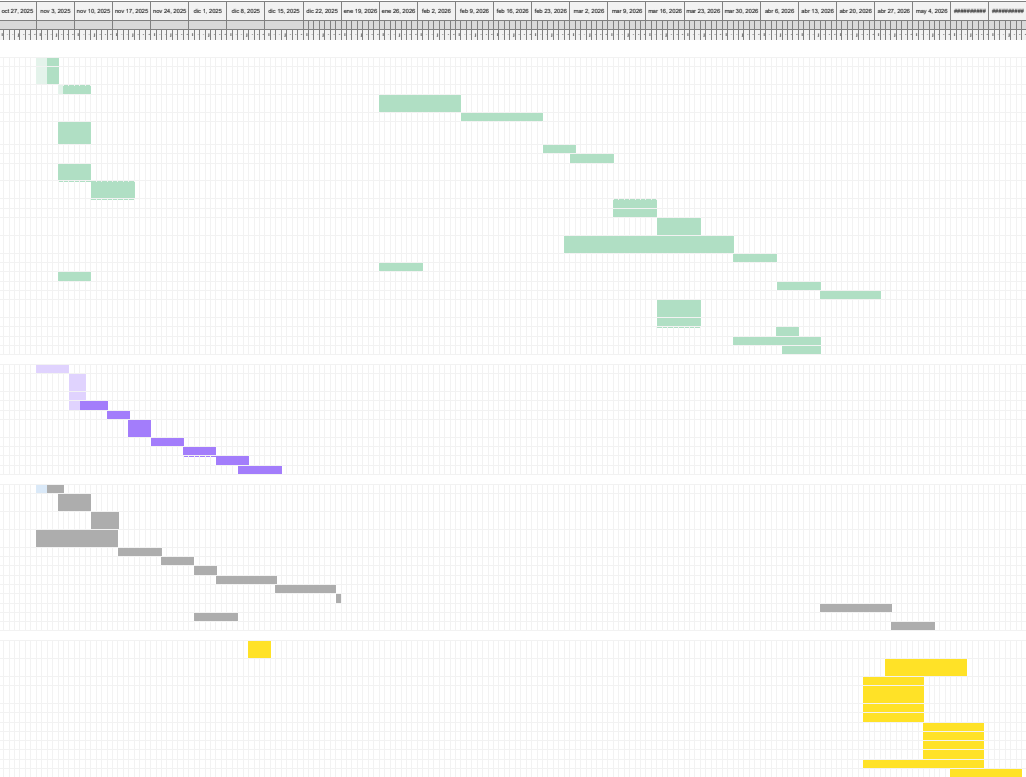
8.1. Diagrama de Gantt

Se presenta el cronograma general del proyecto, que incluye todas las etapas: construcción del robot móvil, redistribución de la bodega, desarrollo de la base de datos y pruebas finales.

Sistema para gestión y monitoreo de inventario

Inicio proyecto: **Jun, 11/3/2025**

TAREA	RESPONSABLE	INICIO	FIN
Robot Movil			
Definir los requerimientos Mécnicos y especificaciones	El grupo	11/3/25	11/6/25
Definir los límites de las dimensiones del robot, los componentes a utilizar y el ensamble	El grupo	11/3/25	11/6/25
Selección y compra de chasis, de ruedas y de motores con encoder	El grupo	11/7/25	11/12/25
Diseñar y modelar en CAD los soportes, los acoples seguidores y fabricar las piezas	Samuel Arias y Juan Aarón	12/6/26	2/6/26
Ensamblar las piezas y realizar pruebas de balanceo y heliparas	Samuel Arias y Juan Aarón	2/10/26	2/24/26
Selección y compra de una batería con BMS e instalación de reguladores de voltaje	El grupo	11/7/25	11/12/25
Colocar un interruptor general y una paratda de emergencia	Juan Aarón	2/26/26	3/2/26
Realizar el cableado a los componentes que requieren alimentación	Juan Aarón	3/2/26	3/5/26
Seleccionar y adquirir el Raspberry Pi, los drivers para los motores, los sensores (Cámaras, IMU, LIDAR) y el módulo Wi-Fi.	El grupo	11/7/25	11/12/25
Diseñar y montar la PCB con todos los componentes y sensores del circuito	Samuel Arias y Juan Aarón	11/13/25	11/20/25
Realizar el control de los motores por PWM utilizando los encoders	Juan Aarón y Nicolás Murillo	3/10/26	3/17/26
Diseñar un control PID	Juan Aarón y Nicolás Murillo	3/10/26	3/17/26
Determinar los puntos para la creación de las rutas que seguirá el robot	Samuel Arias y Juan Aarón	3/18/26	3/25/26
Programar el modelo de análisis de imagen para la detección de inventario	El grupo	3/1/26	3/1/26
Realizar HMI para el control del robot	Juan Aarón	4/1/26	4/6/26
Definir y aprender a usar el protocolo de transmisión de datos	Samuel Arias y Juan Aarón	1/26/26	2/2/26
Actualizar una memoria interna para prevenir sobrecargas de red	El grupo	11/7/25	11/12/25
Realizar pruebas de latencia y confiabilidad de la red	Samuel Arias y Juan Aarón	4/9/26	4/16/26
Generar los archivos con los datos	Juan Aarón y Nicolás Murillo	4/17/26	4/27/26
Realizar el mapeo de los pasillos y las zonas a las que el robot no puede acceder	Samuel Arias y Juan Aarón	3/18/26	3/25/26
Verificar la detección de obstáculos	Samuel Arias y Juan Aarón	3/18/26	3/25/26
Programar señales visuales o sonoras y una parada de emergencia	Juan Aarón y Nicolás Murillo	4/9/26	4/12/26
Integrar la parte mecánica, eléctrica, electrónica y el software	El grupo	4/1/26	4/16/26
Calibrar los sensores	Juan Aarón y Nicolás Murillo	4/10/26	4/16/26
Distribución de la bodega			
Existir todos los tipos de productos	Nicolás Murillo	11/3/25	11/6/25
Separar entre productos de cajas y de bolsa, por categoría (Alimenticio, Aseo) y por marca	Nicolás Murillo	11/9/25	11/11/25
Organizar los productos de más vendidos a menos vendidos.	Nicolás Murillo	11/9/25	11/11/25
Realizar un mapeado de la bodega	Nicolás Murillo	11/9/25	11/15/25
Separar zonas de almacenamiento y de carga	Nicolás Murillo	11/15/25	11/16/25
Asignar pasillos y separar las áreas para los alimentos y para los productos de aseo	Nicolás Murillo	12/10/25	12/23/25
Asignarle un área de la bodega a cada tipo de producto	Nicolás Murillo	11/24/25	11/29/25
Validar la distribución con el personal de bodega	Nicolás Murillo	11/30/25	12/3/25
Ajustar dimensiones de las áreas y de los pasillos	Samuel Arias	12/6/25	12/11/25
Registrar la nueva distribución en la base de datos	Samuel Arias	12/10/25	12/17/25
Base de datos			
Identificar los datos de los productos que se desean almacenar	Nicolás Murillo y Samuel Arias	11/3/25	11/7/25
Realizar un diccionario de los datos. (Código, descripción, nombre, unidad)	Nicolás Murillo y Samuel Arias	11/7/25	11/12/25
Definir los atributos de las entidades. (Tipo de dato, formato, unidad de medida)	Nicolás Murillo y Samuel Arias	11/13/25	11/17/25
Aprender a usar MySQL para enlazar la Raspberry Pi y conectar el sistema a través de la red Wi-Fi.	Samuel Arias	11/3/25	11/17/25
Definir los nombres de las tablas y los tipos de datos en SQL.	Samuel Arias	11/18/25	11/25/25
Definir los índices para consultas. (Por producto, ubicación, fecha).	Samuel Arias	11/30/25	12/1/25
Definir el protocolo de comunicación (MQTT)	Samuel Arias	12/2/25	12/5/25
Programar el módulo de envío de datos en la Raspberry	Samuel Arias	12/6/25	12/16/25
Crear un API que reciba los datos y los inserte en la base de datos	Samuel Arias	12/17/25	12/27/25
Desarrollar una función de respaldo local en la Raspberry Pi	Samuel Arias	12/28/25	1/6/26
Realizar un script que genere los reportes diarios	Samuel Arias	4/17/26	4/26/26
Desarrollar una interfaz HMI	Samuel Arias	12/2/25	12/9/25
Desarrollar alertas por inconsistencias en la base de datos	Samuel Arias	4/30/26	5/7/26
Evaluación			
Verificar que los armenes cumplan con las recomendaciones del proveedor	El grupo	12/12/25	12/15/25
Verificar la consistencia de los datos con la información del inventario físico	El grupo	4/29/26	5/13/26
Realizar pruebas de la trayectoria del robot	El grupo	4/25/26	5/5/26
Realizar pruebas de la calibración de los sensores y de su funcionamiento	El grupo	4/25/26	5/5/26
Realizar pruebas del control PID con distintas curvas	El grupo	4/25/26	5/5/26
Probar los comandos y las señales de emergencia	El grupo	4/25/26	5/5/26
Realizar pruebas de la transmisión de los datos con el robot	El grupo	5/6/26	5/16/26
Realizar pruebas del respaldo local de los datos	El grupo	5/6/26	5/16/26
Realizar pruebas de la generación de reportes del inventario	El grupo	5/6/26	5/16/26
Realizar pruebas de la interfaz HMI	El grupo	4/25/26	5/16/26
Realizar documentación final	El grupo	5/11/26	5/25/26



9. Presupuesto

Item	Cantidad	Precio Unitario (COP)	Total (COP)	Financiación
Horas de trabajo de los estudiantes	368	\$15.000	\$5.520.000	Propia
Horas de trabajo del consultor (director)	36	\$120.000	\$4.320.000	Matrícula PUJ
Horas de trabajo del asesor	36	\$120.000	\$4.320.000	Matrícula PUJ
Driver	4	\$40.000	\$160.000	Cliente
Sensor de ultrasonido	1	\$10.000	\$10.000	Cliente
Regulador	3	\$15.000	\$45.000	Cliente
Batería	2	\$300.000	\$600.000	Cliente
Cargador de batería	2	\$150.000	\$300.000	Cliente
PCB	2	\$150.000	\$300.000	Cliente
Estanterías	30	\$580.000	\$17.400.000	Cliente
Raspberry Pi	1	\$600.000	\$600.000	Matrícula PUJ
Microcontrolador	1	\$200.000	\$200.000	Matrícula PUJ
LIDAR	1	\$500.000	\$500.000	Matrícula PUJ
Cámara	1	\$1.000.000	\$1.000.000	Cliente
Chasis con ruedas, motores y acoples	1	\$550.000	\$550.000	Cliente
Multímetro	1	\$10.000	\$10.000	Matrícula PUJ
Cautín	1	\$30.000	\$30.000	Matrícula PUJ
Fuente de alimentación	1	\$500.000	\$500.000	Matrícula PUJ
Osciloscopio	1	\$160.000	\$160.000	Matrícula PUJ
Distanciómetro	1	\$50.000	\$50.000	Matrícula PUJ
Computador para control y pruebas	1	\$500.000	\$500.000	Propia
SolidWorks	1	\$600.000	\$600.000	Matrícula PUJ
Servidor o servicio en la nube (almacenamiento base de datos)	1	\$500.000	\$500.000	Cliente
Otros	1	\$200.000	\$200.000	Cliente
TOTAL ESTIMADO DEL PROYECTO			\$37.875.000	

Tabla 6: Presupuesto general del proyecto.

10. Estándares aplicados en el proyecto

Para el desarrollo del proyecto se cumplirán con los estándares que se citan en las siguientes normas técnicas:

1. ISO 3691-4:2020 — Industrial Trucks — Safety Requirements and Verification for Driverless Trucks and Their Systems.

Esta norma se centra específicamente a vehículos de guiado automático (AGV) y robots móviles autónomos. Busca regular la detección de obstáculos, la navegación para que sea segura y la implementación de los sistemas de parada automática en entornos compartidos con personas **ISO-3691-4**. La forma en que se implementará en el proyecto es mediante el cumplimiento de los principios de seguridad que esta establece. En particular, se tendrá en cuenta la limitación de velocidad a 0.5 m/s, que garantice una distancia de frenado menor a 60 cm. La detección de obstáculos del sensor Lidar deberá activar el frenado automático cuando detecte objetos a menos de 30 cm y debe reducir la velocidad del robot cuando el obstáculo esté en un rango de 30-60 cm. También se utilizarán señales visuales y sonoras para alertar al entorno ante errores o accidentes. Finalmente, se tendrá un modo manual y una parada de emergencia que se puedan controlar mediante el HMI para la navegación del robot.

2. ISO 12100:2010 — Safety of Machinery — General Principles for Design — Risk Assessment and Risk Reduction.

Esta norma proporciona una metodología para la identificación de peligros, evaluación y reducción de riesgos en zonas donde hay trabajo de máquinas y equipos automatizados **ISO-12100**. Se aplicará al proyecto realizando una matriz de riesgos por cada etapa del proyecto, en la cual se evaluará el riesgo mecánico, eléctrico, con el software y para la operación en la bodega. Por cada peligro identificado se propondrán formas de mitigar el riesgo, ya sea con el diseño, con medidas técnicas o a través de información y capacitación para el implicado.

3. IEC 62061:2021 — Safety of Machinery — Functional Safety of Safety-Related Electrical, Electronic and Programmable Electronic Control Systems.

Esta norma define los requisitos para la seguridad funcional en sistemas de control eléctricos y electrónicos utilizados en maquinaria **IEC-62061**. La manera en que se implementará en el proyecto es a través de los requerimientos para la seguridad de los circuitos eléctricos. Se debe realizar el esquemático de los circuitos a implementar, separar las conexiones de potencia y de señales, limitar la corriente y realizar etiquetado.

4. ISO/TR 20218-1:2018 — Robots and Robotic Devices — Safety Design for Servicing Robots.

Esta norma promueve la documentación técnica que aborda las recomendaciones de seguridad y buenas prácticas para robots de servicio **ISO-20218**. La manera en que se cumplirá con la norma es a través de la creación de un manual de uso para el operario, que contenga la información necesaria sobre el antes, durante y después de la operación. También se cumplirá con el diseño seguro de la estructura mecánica, la cual deberá tener bordes redondeados, protecciones ante posibles colisiones y zonas de agarre para arrastre manual o remolque.

5. ISO/IEC 27001:2022 — Information Security Management Systems.

Esta norma contiene información relevante para la gestión segura de datos cuando se integran componentes conectados o sistemas IoT **ISO-27001**. La manera en que se aplicará la normativa es a través de la utilización de credenciales, el respaldo de los datos temporales en la Raspberry y el uso de una copia de seguridad del servidor. Es necesario realizar pruebas de restauración, se deben registrar los eventos dentro de la base de datos como el ingreso, los errores y las reconexiones, y realizar un historial de versiones de la base de datos por si se requiere volver a una versión anterior a causa de errores.

11. Impacto Socio-económico y ambiental

El proyecto de la gestión del inventario a través de la utilización de la robótica y las bases de datos busca además de mejorar un proceso logístico, contribuir en la forma en la que se desarrolla el trabajo dentro de la empresa Impacta Comercializadora S.A.S. La implementación de nuevas tecnologías en la industria colombiana aporta al desarrollo y al crecimiento de las organizaciones. Su utilización abre posibilidades a nuevos cargos técnicos, creativos y que aportan eficiencia y eficacia a las labores operativas.

El impacto esperado en el ámbito social es que la automatización de las tareas de conteo disminuya la carga física y de trabajo que tienen los trabajadores. Con la ayuda de los robots se disminuye los riesgos asociados a los movimientos repetitivos y se evita la manipulación constante de mercancía, lo cual beneficia tanto a la empresa como al cliente que recibe en mejor estado sus encargos. Al reemplazar las labores repetitivas, se crea la posibilidad de que gran parte de la jornada, el personal de bodega concentre sus esfuerzos en realizar labores de control y supervisión, las cuales son funciones que demandan mayor criterio y ofrecen mejores oportunidades de aprendizaje para potenciar las habilidades particulares de cada trabajador en otras áreas.

Sin embargo, la automatización podría generar la sensación de evitar la necesidad de contratación por parte de la empresa, ya que, al aligerar las labores dentro de la empresa, los cargos con requerimientos básicos podrían ser sustituidos por una máquina, por lo cual, algunos trabajadores podrían ya no ser requeridos. Sin embargo, no se proyecta que la nómina de la empresa se vea disminuida, porque el robot no entra a sustituir ningún cargo ni a reemplazar las tareas de los trabajadores, sino a ayudar, a complementar y a hacer más fiables las labores de inventariado, además de incentivar a una reorganización de las funciones orientadas a la capacitación y a la formación del personal en el uso de las nuevas tecnologías.

El impacto económico se vería reflejado en la disminución del tiempo destinado para la labor de inventariado y en una mejor administración de los recursos. El proyecto genera una reducción de los errores de registro y evita pérdidas de mercancía por culpa de información desactualizada o errónea, lo cual contribuye a tener un mayor control sobre el inventario, mayor orden y menos pérdidas económicas. A mediano plazo se puede optimizar costos operativos, como los costos por exceso de mercancía, y mejorar la toma de decisiones sobre el abastecimiento de la bodega al mantener la información en tiempo real y las estadísticas del historial de la empresa.

Se proyecta que el impacto ambiental no sea significativo, debido a que, el prototipo no genera emisiones contaminantes ni residuos durante su operación, pues el robot se alimenta de energía eléctrica, producto de la red eléctrica pública, y además utiliza materiales reutilizables en su estructura como la estructura. Sin embargo, el hecho de implementar un dispositivo electrónico, se requiere de componentes que tienen una vida útil, y que en el momento de su desecho, genera residuos de baterías y componentes electrónicos o mecánicos que ya no son aprovechables. Sin embargo, con las mejoras esperadas en la logística de la empresa, se lograría evitar la acumulación de productos en exceso, lo cual reduce el desperdicio de productos perecederos. Este proyecto promueve una gestión más ordenada y consciente de los recursos, lo que lleva a mejores prácticas empresariales, como la sostenibilidad y la responsabilidad con el medio ambiente.

Referencias

- [1] A. Shabani, G. Maroti, S. de Leeuw y W. Dullaert, «Inventory record inaccuracy and store-level performance,» *International Journal of Production Economics*, vol. 235, pág. 108 111, 2021, ISSN: 0925-5273. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108111
- [2] I. R. Destro, F. H. Staudt, K. Somensi y C. Taboada, «The impacts of inventory record inaccuracy and cycle counting on distribution center performance,» *Production*, vol. 33, e20220077, 2023. DOI: 10.1590/0103-6513.20220077
- [3] Y. Kang y S. B. Gershwin, «Information Inaccuracy in Inventory Systems: Stock Loss and Stockout,» *IIE Transactions*, vol. 37, n.º 9, págs. 843-859, 2005. DOI: 10.1080/07408170590969861
- [4] Y. Yang, M. Wang, J. Wang, P. Li y M. Zhou, «Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Integrated Demand Forecasting and Inventory Optimization in Sensor-Enabled Retail Supply Chains,» *Sensors*, vol. 25, n.º 8, pág. 2428, 2025. DOI: 10.3390/s25082428
- [5] G. Cidal, Y. A. Cimbek, G. Karahan, Ö. E. Böler, Ö. Özkardesler y H. Üvet, «A Study on the Development of Semi-Automated Warehouse Stock Counting System,» en *2019 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, Istanbul, Turkey, 2019, págs. 323-326. DOI: 10.1109/ICEEE2019.2019.00069
- [6] D. Garcia-Alvarez et al., «Integrating PCA and structural model decomposition to improve fault monitoring and diagnosis with varying operation points,» *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 120, pág. 106 145, 2023. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106145
- [7] J. Muñoz, A. Sanchez y G. Kemper, «End-to-end solution for automatic beverage stock detection in supermarkets based on image processing and convolutional neural networks,» *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 5, n.º 1, págs. 453-474, 2024. DOI: 10.1016/j.ijcce.2024.09.001
- [8] S. Schiffels y C. Jost, «The role of scarcity behavior in inventory management,» *European Journal of Operational Research*, 2025. DOI: 10.1016/j.ejor.2025.05.043
- [9] B. A. Pitaloka, O. Patra, R. Yusriski y H. Suryana, «Designing an RFID System to Improve Stock Accuracy and Supply Chain Efficiency of PT Bap in the Context of Industry Digitalization 4.0,» *Indonesian Impression Journal (JII)*, vol. 4, n.º 9, págs. 3443-3458, 2025.
- [10] I. H. Savci, A. Yilmaz, S. Karaman, H. Ocakli y H. Temeltas, «Improving Navigation Stack of a ROS-Enabled Industrial Autonomous Mobile Robot (AMR) to be Incorporated in a Large-Scale Automotive Production,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 120, págs. 3647-3668, 2022. DOI: 10.1007/s00170-022-08883-0
- [11] T. Do, «AMR Warehouse Systems: Design and Implementation of Autonomous Mobile Robots for Internal Logistics,» *Journal of Robotics and Automation Engineering*, vol. 12, n.º 4, págs. 233-248, 2025.
- [12] M. Gago, L. Pérez y D. Torres, «Aerial Robotic Inventory: Drone-Based Systems for Automated Warehouse Stock Management,» *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 18, n.º 3, págs. 1129-1141, 2021. DOI: 10.1109/TASE.2021.3048123

- [13] W. Liu, «Automatic Shelf Monitoring System Using YOLO-Based Object Detection for Retail Inventory Management,» *Journal of Image and Vision Computing*, vol. 89, págs. 103-115, 2019.
- [14] N. DeHoratius y A. Raman, «Inventory Record Inaccuracy: An Empirical Analysis,» *Management Science*, vol. 54, n.º 4, págs. 627-641, 2008. DOI: 10.1287/mnsc.1070.0789
- [15] T. J. Kull, D. Closs y C. W. Autry, «Daily inventory record inaccuracy: Causes and consequences for supply chain performance,» *Journal of Business Logistics*, vol. 34, n.º 3, págs. 189-201, 2013. DOI: 10.1111/jbl.12021
- [16] T. Best, D. Ivanov y R. W. Seifert, «Inventory record inaccuracy and its consequences on supply chain performance,» *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 52, n.º 11, págs. 414-430, 2022. DOI: 10.1108/IJPDLM-07-2021-0291
- [17] J. Kubáňová, I. Kubasáková, K. Čulík y L. Štítik, «Implementation of Barcode Technology to Logistics Processes of a Company,» *Sustainability*, vol. 14, n.º 2, pág. 790, 2022. DOI: 10.3390/su14020790 dirección: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/790>
- [18] L. Fu, Y. Zhang, Q. Huang y X. Chen, «Research and application of machine vision in intelligent manufacturing,» en *2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 2016, págs. 1126-1131. DOI: 10.1109/CCDC.2016.7531152
- [19] C. Bhagya y A. Shyna, «An Overview of Deep Learning Based Object Detection Techniques,» en *2019 1st International Conference on Innovations in Information and Communication Technology (ICIICT)*, 2019, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ICIICT1.2019.8741359
- [20] D. Piovesan et al., «Edge Computing: Performance Assessment in the Hybrid Prediction Method on a Low-Cost Raspberry Pi Platform,» *Eng*, vol. 6, n.º 10, pág. 255, 2025. DOI: 10.3390/eng6100255
- [21] H. T. M. Htet, T. T. Thu, A. K. Win e Y. Shibata, «Vision-based Automatic Strawberry Shape and Size Estimation and Classification Using Raspberry Pi,» en *59th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, 2020, págs. 360-366.
- [22] R. Bogue, «The Growing Importance of LiDAR Technology,» *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, vol. 49, n.º 6, págs. 1025-1031, 2022.
- [23] L. Huang, «Review on LiDAR-based SLAM Techniques,» en *2021 International Conference on Signal Processing and Machine Learning (CONF-SPML)*, Stanford, CA, USA: IEEE, 2021, págs. 163-168. DOI: 10.1109/CONF-SPML54095.2021.00040
- [24] J. S. L. Leong, K. T. K. Teo y H. P. Yoong, «Four Wheeled Mobile Robots: A Review,» en *2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICALET)*, Kota Kinabalu, Malaysia: IEEE, 2022, págs. 1-6. DOI: 10.1109/IICALET55139.2022.9936855
- [25] J. Zhang, Q. Li e Y. Chen, «RGB-D based object recognition and navigation for indoor mobile robots,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 143, pág. 103835, 2021. DOI: 10.1016/j.robot.2021.103835

- [26] F. A. Alaba, M. A. Majid, R. Othman e I. A. A. Hashem, «Internet of Things security: A survey,» *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 88, págs. 10-28, 2017. DOI: 10.1016/j.jnca.2017.04.002
- [27] P. Sethi y S. R. Sarangi, «Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,» *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, págs. 9324035, 2017. DOI: 10.1155/2017/9324035
- [28] N. Naik, «Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP,» en *IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, 2017, págs. 1-7. DOI: 10.1109/SysEng.2017.8088251
- [29] B. Zhou, X. Li y K. Wang, «Cloud-based IoT architecture for warehouse management and logistics tracking,» *IEEE Access*, vol. 9, págs. 114328-114341, 2021.
- [30] J. Gu, M. Goetschalckx y L. F. McGinnis, «Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review,» *European Journal of Operational Research*, vol. 203, n.º 3, págs. 539-549, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.07.031
- [31] A. Silva, L. C. Coelho, M. Darvish y J. Renaud, «Integrating storage location and order picking problems in warehouse planning,» *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 140, págs. 102003, 2020. DOI: 10.1016/j.tre.2020.102003
- [32] A. Dewan, A. Kumar, H. Singh, V. S. Solanki y P. Kaur, «Advancement in SLAM Techniques and Their Diverse Applications,» en *2023 12th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, Moradabad, India: IEEE, 2023, págs. 387-392. DOI: 10.1109/SMART59791.2023.10428583
- [33] R. Bogue, «Sensors for mobile robots: A review of technologies and applications,» *Sensor Review*, vol. 42, n.º 3, págs. 318-328, 2022. DOI: 10.1108/SR-10-2021-0274
- [34] M. Patel y A. Sinha, «Embedded control systems and microcontroller-based design for autonomous robots: A review,» *IEEE Access*, vol. 10, págs. 125466-125478, 2022.
- [35] R. Singh y A. Kumar, «ESP32 and IoT-based embedded systems for industrial automation and data acquisition,» *Sensors*, vol. 23, n.º 7, págs. 3451, 2023. DOI: 10.3390/s23073451
- [36] K. Cevik y M. Karakaya, «Performance evaluation of Raspberry Pi-based embedded systems for mobile robot control and real-time image processing,» *Computers and Electrical Engineering*, vol. 94, págs. 107354, 2021. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2021.107354
- [37] D. Mery y M. Steger, «Computer Vision for Industrial Inspection: State of the Art and Trends,» *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, n.º 9, págs. 6352-6364, 2022.
- [38] A. S. Catarina, J. Silva y A. Pereira, «WIND: A semi-automatic warehouse inventory system using vision and laser scanning,» *Procedia Manufacturing*, vol. 38, págs. 1215-1223, 2019.
- [39] Y. Chou, C. Lee y T. Huang, «Barcode and QR code detection for inventory robots using image segmentation and morphological operations,» *Sensors*, vol. 21, n.º 14, págs. 4702, 2021. DOI: 10.3390/s21144702

- [40] H. Wang, L. Zhang y M. Chen, «Multi-sensor integration for mobile robot navigation and mapping in logistics environments,» *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 165, pág. 104 419, 2023.
- [41] L. Zhang, S. Liu y Q. Zhao, «Integration of ultrasonic sensors and servo motors for obstacle avoidance in indoor mobile robots,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, n.º 22, págs. 13 411-13 419, 2020.
- [42] M. Pérez, F. Sierra-Sánchez y C. Paez-Rueda, «Coverage and Energy-Efficiency Experimental Test Performance for a Comparative Evaluation of Unlicensed LPWAN: LoRa-WAN and SigFox,» *IEEE Access*, vol. 10, págs. 53 251-53 263, 2022.
- [43] R. Gupta, A. Jain y M. Sharma, «Design and implementation of IoT-enabled embedded systems using ESP32 for industrial monitoring,» *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 31, pág. 100 456, 2023. DOI: 10.1016/j.jii.2023.100456
- [44] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen y D. Georgakopoulos, «Context aware computing for the Internet of Things: A survey,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 16, n.º 1, págs. 414-454, 2014. DOI: 10.1109/SURV.2013.042313.00197
- [45] K. Michael y L. McCathie, «The pros and cons of RFID in supply chain management,» en *International Conference on Mobile Business (ICMB'05)*, 2005, págs. 623-629. DOI: 10.1109/ICMB.2005.103
- [46] P. P, S. Sridevi, A. K y D. S R, «The Smart Factory of Tomorrow: Artificial Intelligence and Machine Learning Reshaping Manufacturing Processes,» en *2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)*, 2023, págs. 1477-1481. DOI: 10.1109/SmartTechCon57526.2023.10391663