

Jornadas de Automática

Diseño e integración de una plataforma robótica bimanual móvil para la manipulación inteligente: avances del proyecto MANiBOT

Peñacoba Yagüe, Mario^{a,*}, Sierra García, Jesús Enrique^a

^a Departamento de Digitalización, Universidad de Burgos, Campus Río Vena, Avda. Cantabria, s/n, 09006 Burgos, España.

To cite this article: Peñacoba Yagüe, Mario, Sierra García, Jesús Enrique, 2025. Design and integration of a mobile bimanual robotic platform for intelligent handling: progress of the MANiBOT project. Jornadas de Automática, 46. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12144>

Resumen

El proyecto europeo MANiBOT tiene como objetivo impulsar las capacidades físicas y cognitivas de los robots de servicio colaborativos, acercando su rendimiento en manipulación de objetos al de los humanos. La meta es lograr una manipulación bimanual eficiente, adaptable y robusta, en entornos dinámicos y potencialmente poblados por personas, manipulando objetos diversos sin conocimiento preciso previo de sus propiedades. En este trabajo se describen los objetivos del proyecto y se presenta la concepción mecánica del sistema, la selección de componentes y la integración electromecánica de una plataforma robótica bimanual móvil desarrollada específicamente para operar en entornos reales y desestructurados como supermercados y aeropuertos. La estructura ha sido concebida para soportar de forma estable y segura dos brazos robóticos colaborativos sobre cualquier base móvil autónoma, manteniendo la modularidad y la flexibilidad para los diferentes escenarios de aplicación. Se detallan los criterios seguidos para el diseño e integración estructural del bastidor. Finalmente, se describen las pruebas funcionales previstas y en curso, enfocadas a validar la capacidad del sistema para realizar tareas complejas de manipulación.

Palabras clave: Robots manipuladores, Robots móviles, Sistemas robóticos autónomos, Tecnología robótica, Mecatrónica.

Design and integration of a mobile bimanual robotic platform for intelligent handling: progress of the MANiBOT project

Abstract

The European project MANiBOT aims to enhance the physical and cognitive capabilities of collaborative service robots, bringing their object manipulation performance closer to that of humans. The goal is to enable efficient, adaptable, and robust bi-manual manipulation in dynamic, human-populated environments, handling diverse objects without prior precise knowledge of their properties. This work presents the objectives of the project as well as the mechanical design, component selection, and electromechanical integration of a mobile bi-manual robotic platform specifically developed to operate in real, unstructured environments such as supermarkets and airports. The structure has been conceived to securely and stably support two collaborative robotic arms on any autonomous mobile base, while maintaining modularity and flexibility for different application scenarios. The criteria used for the structural frame design and integration are detailed. Finally, the functional tests—both planned and ongoing—are described, aimed at validating the system's ability to perform complex manipulation tasks.

Keywords: Robots manipulators, Mobile robots, Autonomous robotic systems, Robotics technology, Mechatronics.

1. Introducción

A pesar de los notables avances en percepción, cognición y control robótico, los robots colaborativos actuales continúan mostrando limitaciones significativas en su

rendimiento físico en comparación con los humanos, especialmente en lo que respecta a la manipulación segura, eficiente y robusta de objetos en entornos reales compartidos con personas. Mientras que los robots industriales ofrecen una gran destreza y velocidad, lo hacen exclusivamente en

escenarios estáticos y con objetos bien conocidos, donde las condiciones están modeladas y la presencia humana restringida. Este enfoque limita la adopción de robots colaborativos en sectores clave como el comercio, la logística o el transporte, donde los entornos son dinámicos, los objetos son diversos y las condiciones no siempre están previamente definidas (Callari et al, 2024).

Frente a esta realidad, el ser humano destaca por su capacidad para comprender el entorno, identificar tareas de manipulación complejas, planificar y ejecutar acciones con una combinación única de habilidades motoras, velocidad, adaptabilidad y resiliencia frente a la incertidumbre o el cambio. La ejecución humana de tareas de manipulación incorpora, además, el uso combinado de dos brazos, métodos de manipulación no prensiles, como empujar o girar, y una interacción sensorial multimodal altamente eficiente, que le permite adaptarse en tiempo real a condiciones cambiantes. Replicar estas capacidades en robots de servicio representa uno de los mayores retos actuales en el ámbito de la robótica.

El proyecto europeo MANiBOT se enmarca dentro de esta problemática, proponiendo el desarrollo de una nueva generación de robots móviles bimanuales con capacidades físicas avanzadas, capaces de manipular una amplia variedad de objetos —incluso deformables o sin modelos CAD precisos— en entornos reales y potencialmente poblados (MANiBOT, 2023). Para ello, MANiBOT propone un marco tecnológico novedoso basado en la fusión de percepción 6D, control adaptativo, mecatrónica cognitiva y planificación basada en contexto. El proyecto aborda desafíos clave en la manipulación de objetos: desde el reconocimiento en 6 grados de libertad sin modelos previos, hasta la ejecución de manipulaciones complejas en espacios reducidos, pilas de objetos y cintas transportadoras.

En este artículo se presentan los avances realizados en el diseño mecánico e integración de una plataforma física que combina dos brazos robóticos colaborativos con una base móvil autónoma. Esta estructura ha sido concebida para operar en los escenarios de validación propuestos por MANiBOT, como la reposición de estanterías en supermercados o la manipulación de equipajes en aeropuertos, donde se requiere una elevada capacidad de adaptación espacial, precisión en espacios confinados y robustez estructural. Asimismo, se exponen las pruebas funcionales diseñadas para evaluar el rendimiento del sistema en condiciones reales, contribuyendo así de forma directa a los objetivos del proyecto MANiBOT.

El artículo se estructura de la siguiente forma: en la Sección 2 se presenta el estado del arte y contexto tecnológico. En la sección 3 se detallan los requisitos funcionales definidos por los casos de uso del proyecto, detallados en la Sección 4. En la sección 5 se explica el diseño mecánico e integración de la plataforma; la Sección 6 recoge los resultados preliminares de validación, y finalmente, en la Sección 7 se exponen las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

2. Estado del arte y contexto tecnológico

El desarrollo de robots móviles bimanuales capaces de realizar tareas complejas de manipulación en entornos reales plantea retos tecnológicos de primer nivel en múltiples

disciplinas: percepción, cognición, control, mecatrónica y aprendizaje. Estos desafíos están estrechamente relacionados con la necesidad de dotar a los sistemas robóticos de una inteligencia física similar a la humana, que les permita actuar de forma segura, eficiente y adaptativa frente a la diversidad de objetos y situaciones presentes en entornos no estructurados (Tantawanich et al, 2024).

En el ámbito de la percepción robótica, los enfoques tradicionales para la estimación de la pose 6D de objetos dependen en gran medida de modelos CAD detallados y no están preparados para trabajar con objetos deformables o altamente ocluidos (Bonci et al, 2021). Los métodos recientes, basados en redes neuronales convolucionales (CNN) y Transformers, han logrado estimaciones más precisas incluso en escenas complejas, pero su aplicabilidad en tiempo real sigue siendo limitada, (Aggarwal et al, 2023). MANiBOT propone superar estas barreras mediante la integración de modelos físicos multiobjeto y arquitecturas neuronales avanzadas, permitiendo la manipulación de objetos apilados, tanto rígidos como deformables.

Por otro lado, la detección de áreas de agarre basada en *affordances* (posibilidades de acción) se ha abordado mediante métodos de segmentación semántica y redes profundas. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos se centran en objetos conocidos y en manipulaciones desde una única dirección. MANiBOT avanza hacia una extracción en tiempo real de *affordances* manipulativas, incluyendo acciones no prensiles sobre objetos rígidos y no rígidos, incluso en entornos desordenados (Geng et al, 2023).

En lo que respecta a la detección de obstáculos y presencia humana, los enfoques actuales se basan en la fusión de datos de sensores lidar, radar, cámaras RGB, estéreo o térmicas, generando mapas de ocupación semántica (Andronie et al, 2023). MANiBOT propone un sistema multimodal dinámico, con atención contextual y aprendizaje profundo, para lograr una detección segura y eficiente en escenarios cambiantes.

Además, el proyecto incorpora técnicas de aprendizaje federado para preservar la privacidad de los datos recogidos por los robots y permitir el entrenamiento colaborativo de modelos sin centralizar la información. Esta estrategia permite desplegar robots inteligentes que aprenden de su experiencia local y comparten únicamente los parámetros del modelo (Gutiérrez et al, 2025).

En el terreno de la cognición robótica, los enfoques actuales de planificación de tareas y coordinación de comportamientos suelen basarse en descripciones semánticas estáticas o árboles de comportamiento. No obstante, estos métodos presentan dificultades para adaptarse a cambios imprevistos en el entorno. MANiBOT plantea una arquitectura jerárquica basada en grafos de escena y tareas, utilizando redes neuronales de grafos (GNN) y aprendizaje por refuerzo (RL) para la orquestación de comportamientos bimanuales y la toma de decisiones en tiempo real (Blumenkamp et al, 2022).

La manipulación bimanual y el uso de primitivas no prensiles —como empujar, deslizar o voltear— siguen siendo poco explorados debido a su complejidad cinemática y la sensibilidad frente a incertidumbres en el modelo del objeto. MANiBOT aborda estos retos mediante el diseño de controladores híbridos que coordinan ambas extremidades

robóticas y aprovechan la redundancia para estabilizar manipulaciones en entornos confinados o con múltiples contactos.

Por último, el desarrollo de mecatrónica cognitiva incluye la integración de sensores táctiles ópticos de alta resolución, sensores de proximidad embebidos en superficies flexibles y actuadores con control de impedancia (Ford et al, 2023). Estas tecnologías permitirán al robot percibir información sobre la textura, la fuerza de contacto, el deslizamiento o la deformabilidad del objeto, y adaptar en consecuencia su estrategia de manipulación (Ford et al, 2025).

En conjunto, este ecosistema de tecnologías representa un avance significativo respecto al estado del arte, permitiendo el desarrollo de robots móviles bimanuales con capacidades físicas y cognitivas mejoradas, capaces de enfrentarse a escenarios reales como la reposición de estanterías o la manipulación de equipajes, tal y como se propone en el proyecto MANiBOT.

3. Requisitos funcionales del sistema robótico

El diseño y desarrollo de la plataforma robótica MANiBOT parte de una serie de requisitos funcionales derivados directamente de los casos de uso reales seleccionados para validar el sistema. Estos casos se centran en tareas de manipulación colaborativa en entornos representativos del sector retail y aeroportuario, concretamente: (i) la reposición de productos en estanterías de supermercados y (ii) la carga y descarga de equipajes en cintas transportadoras y carros. Ambos entornos comparten características clave que suponen desafíos técnicos relevantes para la robótica actual: alta variabilidad en la geometría, peso, rigidez y disposición de los objetos; espacios físicos reducidos y desordenados; y la presencia constante de personas, lo que impone exigencias estrictas en cuanto a seguridad y adaptabilidad.

A partir de estos escenarios, se identifican una serie de requisitos funcionales fundamentales para el sistema MANiBOT:

- I. Capacidad para manipular una gran variedad de objetos de distintas formas, tamaños y materiales, incluyendo objetos deformables y sin modelo CAD previo, en condiciones de visibilidad parcial y apilamiento.
- II. Capacidad de percepción avanzada, incluyendo estimación de la pose 6D bajo oclusión, identificación de zonas de agarre y extracción de *affordances* relevantes para la tarea, incluso en entornos no estructurados.
- III. Planificación y ejecución de manipulaciones bimanuales y no prensiles, en espacios confinados, con coordinación entre ambos brazos robóticos y adaptación dinámica a las restricciones del entorno.
- IV. Integración eficiente de sensores multimodales (visión, tacto, proximidad) para reforzar la percepción durante la ejecución de la tarea, y fusión contextual de la información sensorial relevante.

V. Adaptación a entornos dinámicos con presencia humana, incorporando mecanismos de detección de personas, planificación segura de movimientos y cumplimiento de normativas de privacidad (GDPR).

VI. Escalabilidad y reproducibilidad de las soluciones, garantizando que el diseño mecánico y el software puedan adaptarse a múltiples aplicaciones más allá del ámbito inicial de validación.

Estos requisitos guían tanto el diseño estructural de la plataforma como su integración funcional, y condicionan el enfoque metodológico adoptado por el consorcio MANiBOT para asegurar la viabilidad de su despliegue en condiciones reales de operación.

4. Casos de uso

Los requisitos funcionales de la plataforma MANiBOT se han definido a partir de cuatro casos de uso reales y exigentes, seleccionados por su relevancia industrial y complejidad operativa. Estos escenarios cubren tareas de manipulación colaborativa en entornos dinámicos y no estructurados como supermercados y aeropuertos, con gran variedad de objetos, presencia de personas y restricciones físicas del entorno. Cada caso de uso (CU) se ha desglosado en subescenarios (Sub-CUs) que reflejan los pasos secuenciales del proceso de manipulación robótica, lo que permite evaluar de forma detallada la robustez y adaptabilidad del sistema.

El CU1 se centra en la reposición de productos en supermercados, incluyendo la navegación autónoma del robot hacia el carro de reposición, el reconocimiento y clasificación de productos, la identificación del lugar correcto en la estantería, y la ejecución de la reposición siguiendo el principio FIFO. Este caso de uso pone a prueba la percepción multimodal, la planificación de manipulaciones bimanuales y la capacidad del robot para operar en entornos compartidos con clientes y empleados (Figura 1).

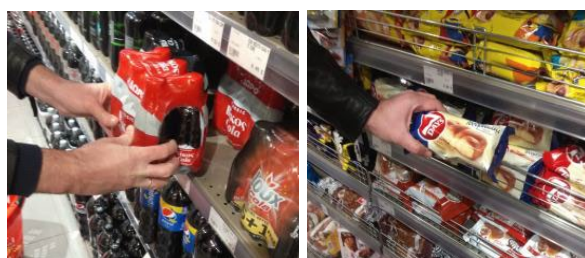


Figura 1: Representación del CU1.

El CU2 plantea un escenario similar de reposición de productos, pero en una tienda piloto de SDI, donde los productos se encuentran inicialmente en pallets mixtos. A este reto se suma la necesidad de reconocer códigos ESL en las estanterías, manipular distintos tipos de empaquetado (incluyendo film retráctil y contenedores plásticos), y realizar tareas de sobre stock y control de calidad antes de reponer. Este caso enfatiza la necesidad de adaptación contextual, percepción precisa y manipulación versátil (Figura 2).



Figura 2: Representación del CU2.

El CU3 aborda la carga de equipajes desde una cinta transportadora hacia un carro en un entorno aeroportuario (FG). El robot debe posicionarse correctamente, detectar y clasificar el equipaje por tipo, etiqueta y peso, y decidir cómo manipular y colocar cada bulto en el carro asignado. Este escenario valida la robustez de la manipulación bimanual y la coordinación segura entre detección, agarre y apilado (Figura 3).

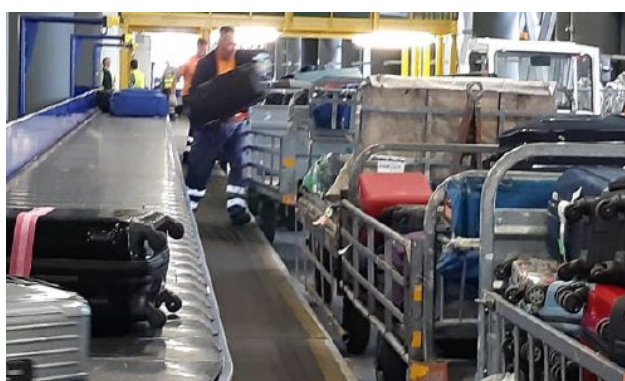


Figura 3: Representación del CU3.

Finalmente, el CU4 complementa al anterior, proponiendo la descarga de equipaje desde un carro a una cinta transportadora. En este caso, el robot debe extraer el equipaje de forma ordenada, evitando colisiones o interferencias con otros elementos, escanear la etiqueta y depositarlo adecuadamente en la cinta. También se contempla el desplazamiento autónomo entre varios carros y el retorno a la base (Figura 4).

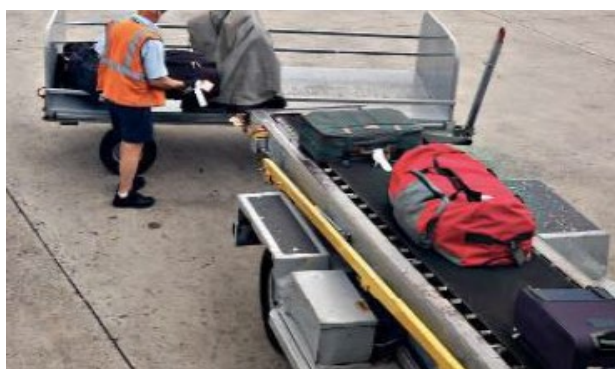


Figura 4: Representación del CU4.

Estos cuatro casos de uso proporcionan una base sólida para validar la plataforma MANiBOT en condiciones reales de operación. Permiten evaluar el sistema de forma integral, desde la navegación hasta la ejecución precisa de tareas de manipulación compleja, abarcando tanto la vertiente técnica como los aspectos relacionados con la interacción segura con el entorno y con las personas.

5. Diseño del sistema robótico

5.1 Estructura mecánica

El desarrollo de la plataforma robótica del proyecto MANiBOT se ha llevado a cabo mediante un proceso iterativo de mejora continua del diseño mecánico, orientado a cumplir con los requisitos funcionales derivados de los casos de uso definidos en entornos reales como supermercados y aeropuertos. A lo largo de doce iteraciones principales, la plataforma ha evolucionado desde un concepto volumétrico inicial hasta una estructura funcional madura, modular y optimizada para la integración de brazos colaborativos, sistemas de transporte y módulos de percepción.

En las primeras fases del diseño (versiones 1-3), se buscó validar el volumen y geometría general de la plataforma sobre distintas bases móviles (AMRs), evaluando la disposición de manipuladores y módulos funcionales. Posteriormente, se introdujeron estructuras intermedias que permitieron elevar la plataforma superior y adaptarla de forma flexible a distintas geometrías de chasis. A medida que se consolidaba la arquitectura del sistema, se incorporaron mejoras en accesibilidad, ventilación, distribución interna y acoplamiento mecánico, junto con simulaciones cinemáticas y validaciones estructurales (versiones 4-7).

Una de las decisiones clave del proceso fue la selección e integración de dos brazos robóticos ABB GOFA, inicialmente en su versión de 5 kg y posteriormente actualizados al modelo GOFA 12 para satisfacer mayores exigencias de alcance y carga. En paralelo, se desarrolló una cinta transportadora central, incluyendo un mecanismo de inclinación lateral que permite la entrega de objetos a diferentes alturas, funcionalidad especialmente relevante en el contexto aeroportuario (versiones 8-11).

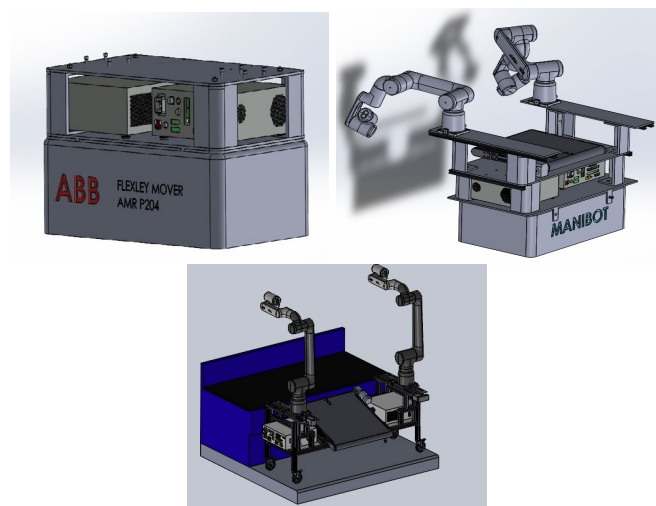


Figura 5: Vista de la versión inicial de la plataforma (v1): validación de volumen y disposición general; Versión intermedia (v4): integración funcional de brazos y cinta transportadora; Versión avanzada (v8): incorporación de brazos GOFA 12 y sistemas lineales.

Durante la transición a la validación física, se construyó un prototipo parcial en aluminio, lo que permitió identificar limitaciones en la rigidez estructural. Como respuesta, se adoptó una solución definitiva basada en tubos de acero reforzado, mejorando la resistencia mecánica, la estabilidad

ante cargas dinámicas y la seguridad operativa. También se incorporó un compartimento técnico inferior para la integración de electrónica y sistemas auxiliares, mejorando la accesibilidad y distribución de masa.

La versión final de la plataforma (v12), mostrada en la Figura 6 consolida todas las decisiones adoptadas: estructura en acero con perfiles de 80 mm, integración de manipuladores GOFA 12, cinta transportadora inclinable de gran capacidad, y arquitectura modular compatible con distintos AMRs (Figura 6).

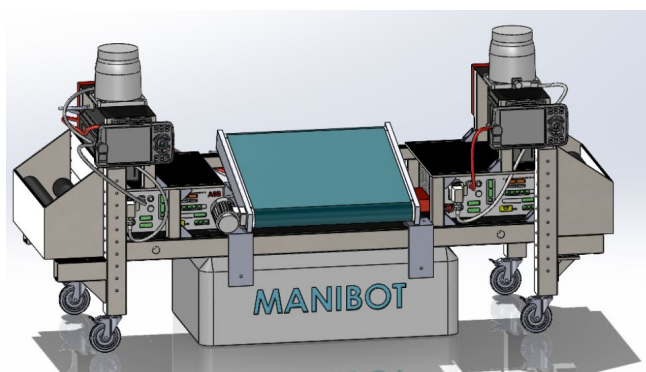


Figura 6: Versión final (v12): estructura en acero reforzado, compartimento técnico y cinta inclinable.

5.2. Características físicas y espacio de trabajo

Desde el punto de vista físico, el sistema presenta una masa total de 437,3 kg, asegurando estabilidad frente a cargas dinámicas y posibles aceleraciones del AMR. El centro de masas ha sido cuidadosamente posicionado para minimizar el riesgo de vuelco y maximizar la maniobrabilidad durante el transporte.

En cuanto al espacio de trabajo, el diseño geométrico de la plataforma ha sido optimizado para maximizar el solapamiento de los rangos operativos de ambos manipuladores. Se ha verificado, tanto mediante simulaciones como análisis físicos, que no se producen interferencias durante operaciones colaborativas, incluso cuando los brazos trabajan simultáneamente sobre un mismo objeto o entorno. Además, cada brazo es capaz de alcanzar puntos ubicados hasta 1 metro fuera de la plataforma, cubriendo alturas desde 0,5 hasta 2,5 metros, lo que le permite operar sobre carros, cintas, estanterías o mostradores a diferentes niveles. Además, se ha reservado espacio para el emplazamiento de todos los dispositivos necesarios para el control integral del sistema robótico: 3 NUC, 2 JETSON y un PC.

5.3 Arquitectura de control y comunicaciones

Desde el punto de vista de la arquitectura de control, el sistema emplea una estrategia distribuida: cada brazo robótico cuenta con su propio controlador, conectado al sistema principal a través de una red WAN, junto con el control de la cinta transportadora y los actuadores del mecanismo de elevación.

La coordinación global del sistema se realiza a través de una capa superior basada en ROS, que permite la ejecución de tareas colaborativas, la planificación de movimientos y la monitorización continua de sensores y estados.

5.4 Autonomía energética

En lo relativo a la alimentación eléctrica, la plataforma puede operar tanto conectada a red como de forma autónoma gracias a un sistema de baterías industriales de alta capacidad, que proporcionan una autonomía estimada de 8 horas en condiciones nominales de operación, permitiendo misiones prolongadas sin necesidad de recarga ni conexión fija.

El compartimento técnico inferior proporciona acceso rápido a los elementos críticos del sistema, mientras que la arquitectura modular permite su adaptación a distintas configuraciones de AMRs y casos de uso. Todo ello hace de esta plataforma una solución robusta, versátil y lista para su evaluación experimental en los escenarios definidos por el proyecto MANiBOT.

6. Integración mecánica del sistema robótico

Una vez consolidado el diseño estructural de la plataforma robótica, el siguiente paso ha sido abordar su integración mecánica. Esta etapa es clave para garantizar tanto la viabilidad del montaje como la interoperabilidad con distintos sistemas móviles y manipuladores colaborativos. En línea con los principios de modularidad y flexibilidad definidos en el proyecto MANiBOT, se han introducido soluciones específicas para facilitar el acoplamiento, la elevación, el mantenimiento y la futura evolución del sistema.

Uno de los desarrollos más significativos en esta fase ha sido la implementación de un sistema de elevación ajustable, concebido para permitir el acoplamiento de diferentes AMRs a la plataforma sin necesidad de rediseño estructural. Este sistema, fabricado en acero, combina puntos de apoyo fijos y ruedas giratorias con freno, lo que permite mantener la plataforma elevada durante las operaciones de integración, así como realizar desplazamientos seguros en entornos controlados. La estructura física junto con el sistema de elevación se muestra en la Figura 7.



Figura 7: Plataforma estructural levantada mediante sistema de elevación para permitir el acoplamiento de diferentes AMRs.

Paralelamente, se ha avanzado en la integración de los manipuladores seleccionados. Se ha optado por el ABB GOFA 12, un brazo colaborativo de altas prestaciones, con mayor carga útil y alcance que su versión anterior. Actualmente, ya se encuentra disponible uno de los dos brazos en el laboratorio de la Universidad de Burgos, donde se están

realizando pruebas de verificación y parametrización del sistema de control. Este manipulador será montado sobre uno de los laterales de la estructura, mientras que un segundo GOFA 12 se instalará en la parte opuesta, permitiendo tareas colaborativas bimanuales y operaciones de manipulación simultánea sobre la cinta transportadora central (Figura 8).



Figura 8: Manipulador colaborativo ABB GOFA 12 en el laboratorio de la Universidad de Burgos, pendiente de ser instalado sobre la estructura.

El diseño actual prevé además la integración de sistemas de percepción, sensores adicionales y otras interfaces necesarias para satisfacer las necesidades de los casos de uso.

En conjunto, la integración mecánica del sistema se encuentra en una fase avanzada, combinando soluciones estructurales robustas con elementos modulares y adaptables, y sentando las bases para las próximas etapas de integración funcional y validación experimental del sistema MANiBOT.

7. Conclusiones

Este trabajo ha presentado el proceso de diseño e integración mecánica de una plataforma robótica bimanual móvil desarrollada en el marco del proyecto europeo MANiBOT, cuyo objetivo es dotar a los robots colaborativos de capacidades físicas avanzadas para operar en entornos reales, dinámicos y potencialmente compartidos con humanos. A partir de los requisitos funcionales extraídos de casos de uso reales en los sectores del comercio minorista y el transporte aeroportuario, se ha seguido una metodología iterativa que ha permitido evolucionar desde un concepto volumétrico inicial hasta una solución mecánica robusta, modular y lista para validación experimental.

Durante el desarrollo se han abordado múltiples desafíos, entre ellos: la integración de brazos colaborativos de alta capacidad (ABB GOFA 12), el diseño de un sistema de elevación que permite la compatibilidad con distintas bases móviles (AMRs), y la implementación de una cinta transportadora inclinable adaptada a las necesidades del entorno aeroportuario. Asimismo, se ha diseñado una estructura optimizada híbrida mediante perfiles de acero y perfiles de aluminio extruido, que dan como resultado una estructura modulable y adaptable que se postula como una base sólida para la futura validación de estrategias de manipulación compleja en entornos no estructurados,

facilitando la integración de tecnologías avanzadas en percepción, planificación y control. Los próximos pasos del proyecto incluyen la integración electromecánica de sensores y elementos de detección, la validación en escenarios reales y la evaluación del comportamiento del sistema bajo condiciones operativas representativas, lo que permitirá demostrar el potencial del enfoque propuesto para impulsar la adopción de robots colaborativos en aplicaciones industriales y logísticas reales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo de la Comisión Europea en el marco del proyecto europeo MANiBOT, número de referencia 101120823.

Referencias

- Aggarwal, K., Singh, S. K., Chopra, M., Kumar, S., & Colace, F. (2022). Deep learning in robotics for strengthening industry 4.0.: opportunities, challenges and future directions. *Robotics and AI for cybersecurity and critical infrastructure in smart cities*, 1-19. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96737-6_1
- Andronie, M., Lăzăroiu, G., Iatagan, M., Hurloiu, I., Ștefănescu, R., Dijmărescu, A., & Dijmărescu, I. (2023). Big Data Management Algorithms, Deep Learning-Based Object Detection Technologies, and Geospatial Simulation and Sensor Fusion Tools in the Internet of Robotic Things. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(2), 35. <https://doi.org/10.3390/ijgi12020035>
- Blumenkamp, J., Morad, S., Gielis, J., Li, Q., & Prorok, A. (2022, May). A framework for real-world multi-robot systems running decentralized GNN-based policies. In *2022 International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 8772-8778). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA46639.2022.9811744>
- Bonci, A., Cen Cheng, P. D., Indri, M., Nabissi, G., & Sibona, F. (2021). Human-robot perception in industrial environments: A survey. *Sensors*, 21(5), 1571. <https://doi.org/10.3390/s21051571>
- Callari, T. C., Segate, R. V., Hubbard, E. M., Daly, A., & Lohse, N. (2024). An ethical framework for human-robot collaboration for the future people-centric manufacturing: A collaborative endeavour with European subject-matter experts in ethics. *Technology in Society*, 78, 102680. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102680>
- Ford, C. J., Li, H., Catalano, M. G., Bianchi, M., Psomopoulou, E., & Lepora, N. F. (2025). Shear-Based Grasp Control for Multi-Fingered Underactuated Tactile Robotic Hands. *IEEE Transactions on Robotics*. <https://doi.org/10.1109/TRO.2025.3563046>
- Ford, C. J., Li, H., Lloyd, J., Catalano, M. G., Bianchi, M., Psomopoulou, E., & Lepora, N. F. (2023, May). Tactile-driven gentle grasping for human-robot collaborative tasks. In *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 10394-10400). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10161036>
- Geng, Y., An, B., Geng, H., Chen, Y., Yang, Y., & Dong, H. (2023, May). Rlafford: End-to-end affordance learning for robotic manipulation. In *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 5880-5886). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10161571>
- Gutierrez, G. M., Rincon, J. A., & Julian, V. (2025). Federated Learning for Collaborative Robotics: A ROS 2-Based Approach. *Electronics*, 14(7), 1323. <https://doi.org/10.3390/electronics14071323>
- MANiBOT. (2023). MANiBOT project. <https://manibot-project.eu/>
- Tantawanich, P., Phunruangsakao, C., Izumi, S. I., & Hayashibe, M. (2024). A Systematic Review of Bimanual Motor Coordination in Brain-Computer Interface. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2024.3522168>