



**Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias
basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y
validación de casos de uso (5GVEC)**

Expediente: TSI-065100-2022-001

E26. RESUMEN EJECUTIVO

Consortio:



ERICSSON

TINAMICA



Financia:



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS PRINCIPALES	2
3. RESUMEN EJECUTIVO	5
4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	5

1. INTRODUCCIÓN

El presente entregable se enmarca en el Paquete de Trabajo 3 del proyecto 5GVEC, específicamente dentro de la Actividad 8 liderada por PREMO. El objetivo fundamental es la definición técnica de una plataforma denominada COBOTMÓVIL, la cual surge de la necesidad de optimizar los flujos de materiales en entornos de Industria 4.0. Este documento actúa como el pilar conceptual sobre el cual se asientan los desarrollos posteriores de integración y autonomía. La contribución principal de este informe es la traducción de las necesidades logísticas de la planta en requisitos técnicos de ingeniería robótica.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

Teniendo en cuenta los aspectos fundamentales que se pretenden reflejar en el entregable en cuestión, los objetivos fundamentales a los cuáles se da cabida en el documento se enumeran a continuación:

- **Definición de Cargas:** Recopilar toda la información en relación con las características límite que pueden presentar las materias primas que son objeto de transporte entre distintos departamentos de una misma planta de producción (peso, forma y tamaño), junto al conjunto de limitaciones dimensionales que presenta el COBOTMÓVIL en sí (dimensiones máximas y mínimas).



Ilustración 1. Materia prima en almacén vertical.

- **Estandarización de Interfaz:** Proponer el uso de bandejas normalizadas para que el robot interactúe con una interfaz única, independientemente de la geometría de la pieza.
- **Interoperabilidad 5G:** Establecer los protocolos de comunicación bidireccional con el sistema de almacenamiento vertical MODULA Lift MCD para la petición y recepción de material.



Figura 2. Almacén vertical MODULA Lift MCD

- **Diseño de Trayectorias:** Definir los pasillos de navegación con un ancho mínimo de 1,3 metros en entornos llanos y lisos.
- **Desarrollo del COBOTMÓVIL:** explicación sobre la conjunción entre las ventajas que presenta una base robótica móvil y un brazo robótico para el desarrollo de un mismo fin.



Figura 3. Ejemplo de COBOTMOVIL

2.1. Ejemplo de objetivos

1. Determinación del peso de los materiales que serán trasladados en el entorno de trabajo (alcanzando valores de hasta 30 kg).
2. Obtención del conjunto de medidas que definirán las bandejas que servirán de soporte para el traslado de dichos materiales, junto aquellas que definen la forma de las materias primas (bobinas entre 60-90 mm de diámetro, y entre 90-300 mm de altura).
3. Definición del recorrido y de las características a tener en cuenta de cara a la selección de las distintas partes que componen al robot, como de los parámetros que definirán a nivel de software interno el comportamiento del COBOTMOVIL sobre el pavimento objeto de estudio.

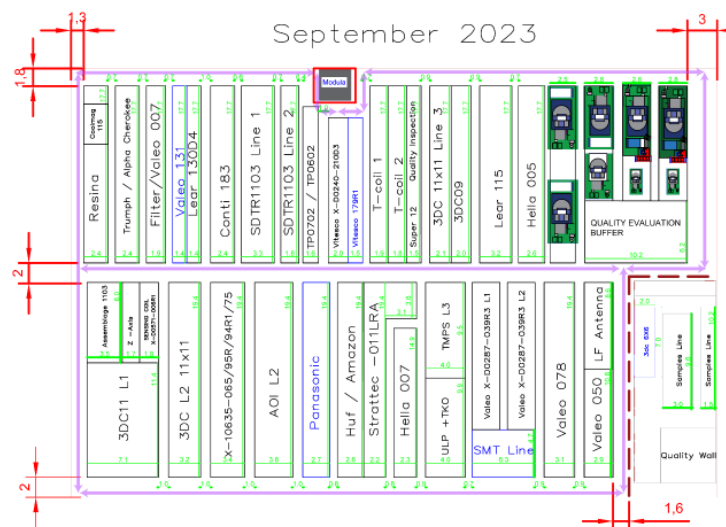


Figura 3. Recorrido de abastecimiento del COBOTMOVIL

4. Garantizar la interoperabilidad, por medio de una red que aprovecha las ventajas de la tecnología 5G, entre los diferentes sistemas involucrados. En nuestro caso, entre almacén vertical MODULA Lift MCD, el COBOTMÓVIL y la línea de producción.
5. Explicar la conexión interna entre la base móvil incorporada al robot, el brazo robótico y el efector final del mismo, por medio de un desarrollo matemático que refleja la interconectividad entre distintos dispositivos.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_E \\ \dot{y}_E \\ \dot{z}_E \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_A \\ \dot{y}_A \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} + R(\phi) J_m(q) \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_n \end{bmatrix} = [R(\phi) J_m(q) \quad J_{R.MÓVIL}] \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_n \\ \omega_R \\ \omega_L \end{bmatrix}$$

Figura 4. Matriz jacobina que intercomunica los movimientos entre el efector final y la base

6. Reflejar los resultados concluyentes del estudio en cuestión.

3. RESUMEN EJECUTIVO

Para lograr estos objetivos, se ha empleado un enfoque de modelado cinemático avanzado. Se ha seleccionado una plataforma móvil diferencial que permite una maniobrabilidad superior en espacios reducidos. El control del efector final del manipulador se gestiona mediante la resolución de una matriz jacobiana conjunta que integra tanto el movimiento de la base como el del brazo.

Además de todo lo anterior, la infraestructura de red propuesta utiliza tecnología 5G para garantizar latencias mínimas en la transmisión de comandos desde la línea de producción hasta el robot, teniendo como objetivo agilizar las comunicaciones y el trabajo internos entre distintas secciones de una misma infraestructura.

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

El entregable E26 establece las especificaciones fundamentales para la implementación del COBOTMÓVIL en el entorno operativo, destacando como un factor determinante la definición exhaustiva de las dimensiones y pesos de la materia prima. Este análisis pormenorizado proporciona la base técnica necesaria para asegurar una planificación y operación eficiente del sistema robótico en el almacén. En este contexto, se ha desarrollado un diseño minucioso de la infraestructura de tránsito, delimitando los pasillos y recorridos específicos que debe realizar la unidad. La configuración de estas rutas estratégicas responde a criterios de optimización de la movilidad y eficacia en la ejecución de tareas, contribuyendo de manera directa a la maximización de la productividad laboral.

De manera complementaria, el proyecto subraya la importancia de implementar tecnología 5G como requisito de comunicación esencial en el entorno industrial. Esta infraestructura de conectividad avanzada representa una decisión estratégica orientada a garantizar un rendimiento superior y una mejora sustancial en los procesos productivos asociados al uso del COBOTMÓVIL. Finalmente, se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica profunda centrada en la cinemática del dispositivo, con especial énfasis en el control preciso de su posicionamiento.

Este análisis aporta los conocimientos teóricos indispensables para garantizar una manipulación de carga segura y una integración técnica informada dentro del diseño general del sistema.

4.1. Presentación de resultados

Como resultado del estudio, se presenta la Tabla 1, que resume de forma visual y directa las variables objeto de estudio para la selección de los componentes que conforman el COBOTMÓVIL y el equipo implícito para su correcto funcionamiento.

Materia Prima	Dimensiones entre 60 y 400 mm	Peso hasta 30 kg	Formas variadas
Área de recogida	Bandeja de 2500 mm x 100 mm		Altura 810 mm
Recorrido	Anchura mínima del pasillo 1,3 m		Suelo liso, plano y firme
Comunicación	Línea de producción – COBOTMÓVIL – Almacén MÓDULA mediante 5G		
COBOTMÓVIL	Plataforma móvil tipo diferencial + Cobot Manipulador de 6 grados de libertad.		

Tabla 1. Resumen de las especificaciones



Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y validación de casos de uso (5GVEC)

Expediente: TSI-065100-2022-001

E27. RESUMEN EJECUTIVO

Consortio:



ERICSSON

TINYMICA



Financia:



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS PRINCIPALES	2
3. RESUMEN EJECUTIVO	4
4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	5

1. INTRODUCCIÓN

Este entregable detalla la transición de los conceptos teóricos del E26 a la construcción física del prototipo. El proceso ha implicado una colaboración estrecha entre PREMO y la Universidad de Málaga para fusionar la experiencia industrial con el desarrollo académico. Se describe aquí la unión de dos sistemas comerciales líderes en el mercado: el brazo xArm 6 y la base RB-I BASE.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

Los objetivos principales que se presentan en el entregable referido son los que se muestran a continuación:

- **Unificación Mecánica:** detallar la totalidad de los componentes que han sido necesarios a nivel estructural, que ha permitido unir en un único dispositivo conjunto la base con el brazo robótico.
- **Arquitectura de Software:** Configurar un sistema de computación distribuido bajo el framework ROS, donde la base actúa como nodo maestro.
- **Integración Eléctrica:** Establecer una línea de alimentación de 24V compartida, gestionando los consumos pico para evitar sobrecargas en las baterías de la base.

2.1. Ejemplo de objetivos

1. Explicación de las partes que conforman el brazo robótico, así como su movilidad y alcances (máximos y mínimos), y especificaciones necesarias para el conocimiento de la funcionalidad del brazo (peso máximo, velocidad máxima, etc).

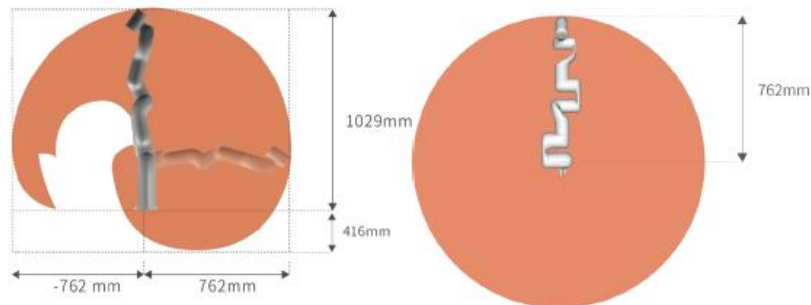


Figura 1. Descripción del espacio de trabajo del manipulador.

2. Informar sobre la base escogida y el fundamento que sustenta la elección de la misma (RB-I BASE).



Figura 2. Base robótica móvil RB-I BASE

3. Detallar el funcionamiento conjunto entre la base robótica y el brazo (a nivel de software y hardware) por medio de su conectividad con los operarios de la planta por medio de la tecnología 5G.

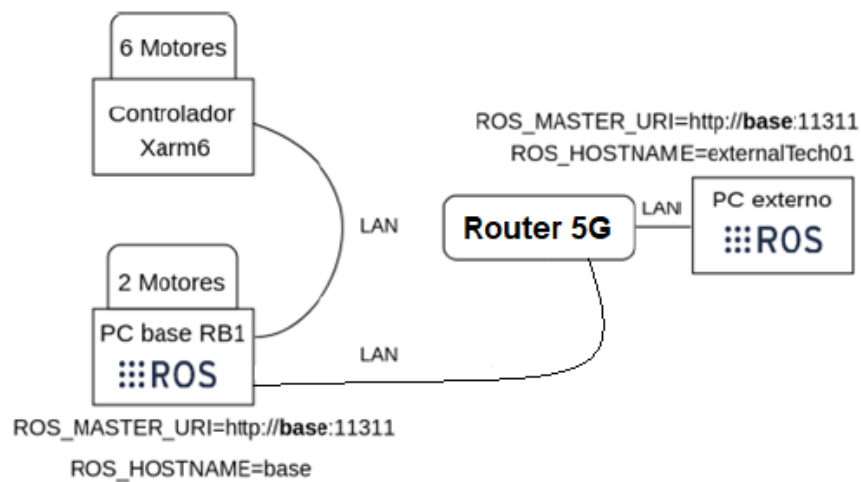


Figura 3. Esquema de comunicación del sistema integrado del COBOTMOVIL

4. Enumerar los componentes que definen el sistema sensorial del COBOTMOVIL, los cuales hacen posible su funcionamiento autónomo en todo su entorno de trabajo.
5. Enumerar y explicar en detalle los distintos elementos que conforman el conjunto del COBOTMOVIL (estructura, diseño de pinza, integración eléctrica, etc).

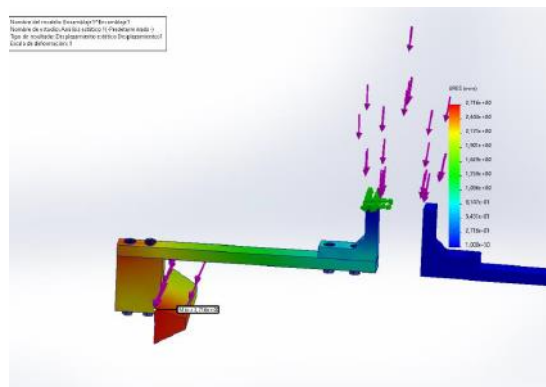


Figura 4. Simulación en elementos finitos del diseño de la pinza

3. RESUMEN EJECUTIVO

La integración física se resolvió mediante una torre de extrusión de aluminio normalizado que maximiza la rigidez sin penalizar el peso.

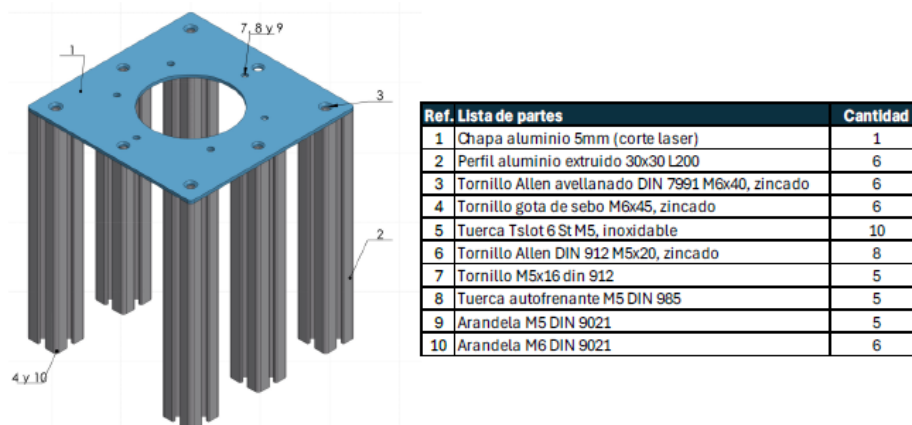


Figura 5. COBOTMOVIL. Estructura y lista de partes.

En el plano eléctrico, el análisis de consumos determinó que el robot móvil y el manipulador no deben realizar movimientos de alta carga simultáneamente, limitando el consumo pico total a 18,125 A.

En cuanto a la comunicación externa, se ha incorporado un router Teltonika RUT271 para habilitar la conectividad 5G y el acceso remoto vía VPN. Además, se ha desarrollado una pinza personalizada con garras de aluminio 6061 para asegurar la recogida fiable de gavetas.

	RB-I Base	xArm6	RUT271
Consumo pico (A)	12	12	0.125
Consumo estático (A)	3	5	0.063

Tabla 1. Consumos eléctricos

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

Se ha logrado un sistema único de 9 grados de libertad (6 del brazo y 3 de la base) que cumple con todas las normativas de seguridad colaborativa ISO 15066:2016. La plataforma resultante es completamente funcional y constituye el hito necesario para iniciar las pruebas de autonomía.

4.1. Resultados de la integración

La integración del COBOTMÓVIL consistió en unir físicamente el brazo xArm 6 y la base móvil RB-I BASE para crear un único robot funcional de 9 grados de libertad. Para lograrlo, se fabricó una torre de aluminio que eleva el brazo 200 mm, permitiendo que alcance mejor las mesas de trabajo y guardando en su interior la electrónica y el router 5G de forma compacta. Además, se diseñó una pinza especial con dedos de aluminio para asegurar que el robot pueda sujetar con firmeza las cajas de material, incluso si no están perfectamente alineadas.

En el aspecto eléctrico, se conectaron todos los componentes a las baterías de 24V de la base móvil. Tras realizar pruebas, se descubrió que el brazo y la base consumen mucha energía al moverse, por lo que se estableció la norma de que no deben realizar movimientos pesados al mismo tiempo para no agotar la batería o causar fallos. Para proteger el sistema, se instaló un circuito independiente con un fusible de 20 A y cables más gruesos que soportan la carga de ambos dispositivos.

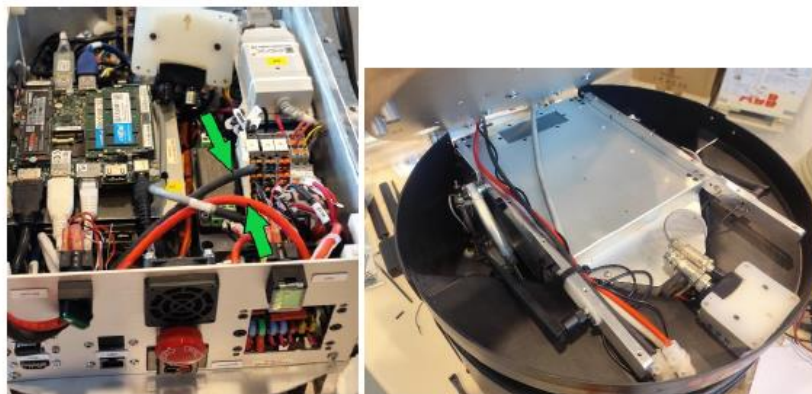


Figura 6. Integración del cableado

Finalmente, la integración de software permitió que los dos ordenadores del robot se entiendan entre sí mediante el sistema ROS. El ordenador de la base funciona como el "cerebro" principal que recibe las órdenes del usuario, mientras que el del brazo ejecuta las tareas de movimiento

coordinadas. Todo el sistema está conectado a un router 5G que permite a los técnicos manejar o revisar el robot a distancia con total seguridad a través de una red privada.

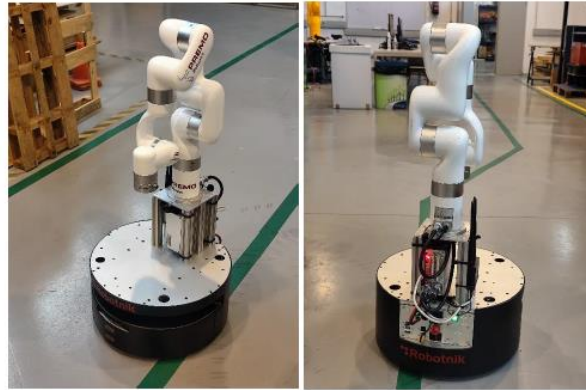


Figura 7. COBOTMOVIL completamente integrado y funcional



**Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias
basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y
validación de casos de uso (5GVEC)**

Expediente: TSI-065100-2022-001

E28. RESUMEN EJECUTIVO

Consortio:



ERICSSON

TINAMICA



Financia:



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS PRINCIPALES	2
3. RESUMEN EJECUTIVO	4
4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	4

1. INTRODUCCIÓN

Una vez integrado físicamente, el COBOTMÓVIL requiere de una capa de inteligencia artificial y control avanzado para operar sin supervisión constante. Este entregable presenta el despliegue del software real en el robot, tras una fase exhaustiva de validación en el simulador Gazebo.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

En cuanto a los objetivos principales que se buscan matizar a lo largo del entregable en cuestión, estos se enumerarán a continuación:

- **Navegación Segura:** Implementar el Navigation Stack de ROS para permitir la evasión de colisiones y la planificación de rutas globales.
- **Manipulación Inteligente:** Utilizar MoveIt para la generación de trayectorias libres de colisión en las tareas de "Pick & Place".
- **Visión Artificial:** Configurar marcadores ArUco para que el robot localice con precisión milimétrica el centro de las cajas.

2.1. Ejemplo de objetivos

1. Describir el conjunto de sensores que componen a la base robótica como al manipulador.
2. Realizar simulaciones que verifiquen la capacidad autónoma del propio COBOTMOVIL en su entorno de trabajo, una vez que los comandos hayan sido enviados por los operadores de la planta.

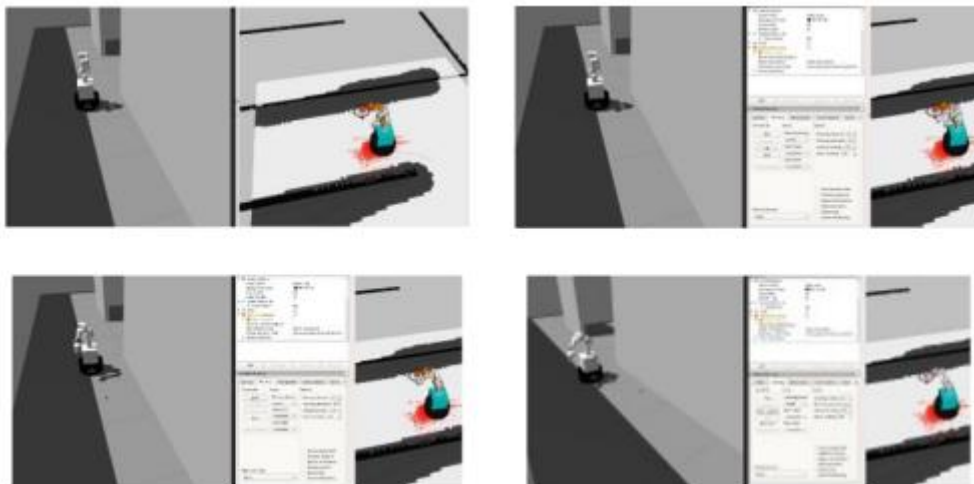


Figura 1. Tarea de manipulación autónoma del COBOTMOVIL

3. Desarrollar un sistema capaz de identificar la posición de las cajas, que serán transportadas por el COBOTMOVIL, por medio de la instalación de una cámara

(RealSense D435i) cuya función reside en la percepción de unos códigos localizados en los extremos de la bandeja.



Figura 2. Representación del reconocimiento por parte de la cámara RealSense D435i de la posición actual de la caja

4. Preparar una interfaz sencilla e intuitiva donde el operario pueda enviar los comandos que considere oportunos al COBOTMOVIL.

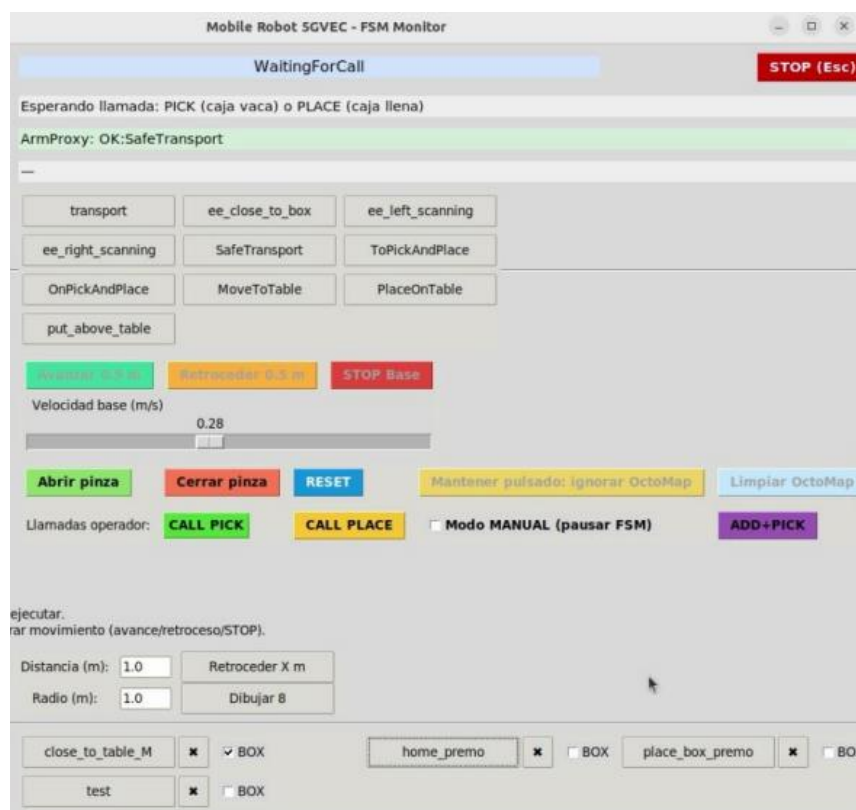


Figura 3. Interfaz de comandos diseñada para la llamada por parte del operador al COBOTMOVIL



3. RESUMEN EJECUTIVO

El sistema sensorial ahora incluye un Lidar 2D para mapeo y una cámara Intel RealSense D435i para percepción tridimensional. La coordinación de tareas se gestiona mediante una máquina de estados que automatiza el flujo completo: navegación al punto de recogida, búsqueda visual de la caja, manipulación y transporte al destino. Se ha desarrollado una interfaz gráfica (GUI) en Tkinter que permite a operarios no expertos enviar comandos de alto nivel como "CALL PICK" y gestionar waypoints.

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

El entregable E28 detalla la exitosa convergencia técnica entre un manipulador colaborativo (cobot) y una plataforma robótica móvil, diseñada específicamente para resolver desafíos de logística interna en una infraestructura conectada por 5G. Tras una caracterización exhaustiva de ambos componentes, se ha validado su operatividad en un entorno de simulación que utiliza el mismo software de control implementado en el robot físico.

La arquitectura del sistema destaca por la integración de tecnologías avanzadas, tales como un *Navigation Stack* para la movilidad autónoma y el framework *MoveIt* para la planificación de tareas de manipulación precisas. Estos módulos tecnológicos fundamentan el desarrollo de una máquina de estados y una interfaz gráfica de usuario personalizada, elementos que orquestan la ejecución de operaciones logísticas automatizadas aprovechando la baja latencia y el alto ancho de banda de la red 5G.



**Desarrollo de soluciones tecnológicas necesarias
basadas en 5G para el despliegue del vehículo conectado y
validación de casos de uso (5GVEC)**

Expediente: TSI-065100-2022-001

E29. RESUMEN EJECUTIVO

Consortio:



ERICSSON

TINAMICA



Financia:



**Financiado por
la Unión Europea**
NextGenerationEU

Cofinancia:





Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS PRINCIPALES	2
3. RESUMEN EJECUTIVO	4
4. PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	4

1. INTRODUCCIÓN

En este informe final de la actividad se recogen las métricas de rendimiento del COBOTMÓVIL en un entorno productivo real en PREMO. El objetivo es validar si las especificaciones definidas en el E26 se cumplen bajo condiciones de trabajo reales.

2. OBJETIVOS PRINCIPALES

Para validar que el comportamiento del COBOTMOVIL es correcto, se acometerán distintas pruebas que se llevarán a cabo bajo la consigna de corroborar los siguientes puntos:

- **Precisión de Mapeo:** comprobar que el comportamiento autónomo del robot frente a la imposición de obstáculos en el entorno de trabajo es ideal con la implementación de una resolución de 20 cm del mapa.
- **Fiabilidad de localización:** asegurar que la incertidumbre de posición del robot no supere los 50 cm.
- **Rendimiento 5G:** validar el comportamiento de la red basada en la tecnología 5G por medio de la medida de latencias y ancho de band en condiciones de operación remota.

2.1. Ejemplo de objetivos

1. Pruebas en el entorno de trabajo mediante el empleo del mapa de las instalaciones que tiene cargado la base del COBOTMOVIL. Mediante la configuración de la construcción de un mapa con celdas de tamaño de 20 cm, se comandarán localizaciones en el entorno en cuestión para validar el grado de autonomía que presenta.

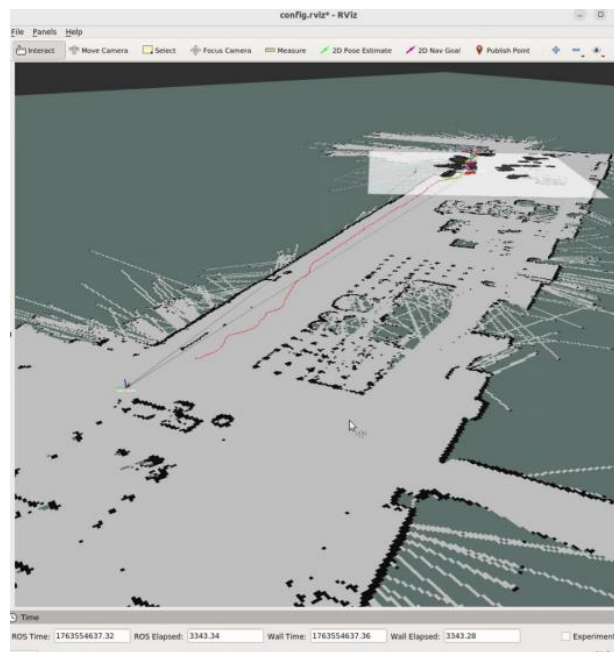


Figura 1. Representación simultánea del COBOTMOVIL avanzando en las instalaciones en el mapa de las instalaciones registrado por la base.

2. Seguidamente de la prueba comentada anteriormente, se realiza un estudio sobre la precisión que presenta la base para reconocer su localización dentro del mapa que tiene recogido en su historial con respecto a su posición original.

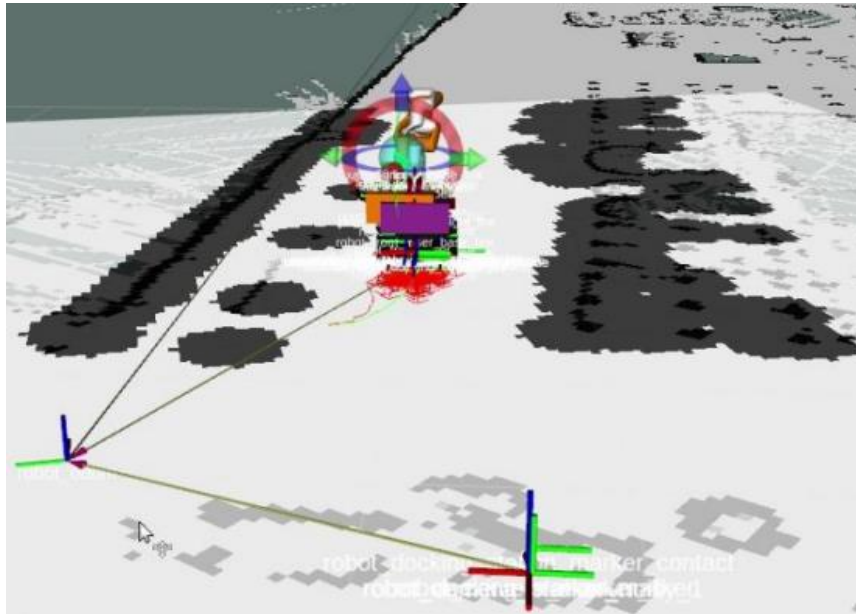


Figura 2. Localización del COBOTMOVIL en el entorno.

3. Realizar simulacros de llamadas por parte de operarios al COBOTMOVIL para el transporte autónomo de los materiales desde el almacén Modula Lift MCD. Con estos simulacros se buscan los siguientes objetivos: comprobar que los resultados de las pruebas de anteriores de precisión y de anticollisión con obstáculos se validan de nuevo, certificar el correcto funcionamiento conjunto entre la base y el brazo robótico bajo un mismo fin, además de validar si la integración de la tecnología 5G agiliza la comunicación entre las distintas partes que intervienen en el transporte (operarios de almacén y producción con el COBOTMOVIL).

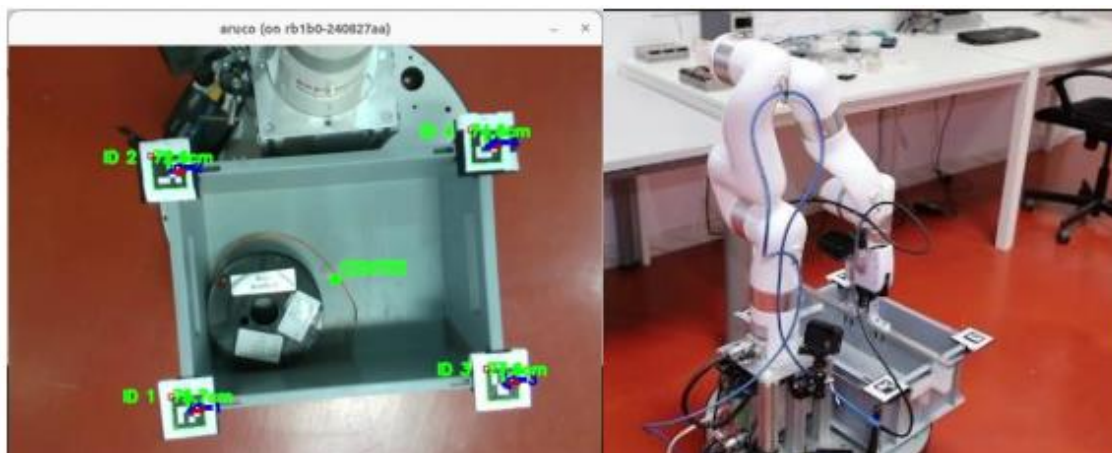


Figura 3. COBOTMOVIL transportando la bandeja de los materiales (figura de la derecha) y vista de la cámara del manipulador de esta (izquierda).

3. RESUMEN EJECUTIVO

Las pruebas de navegación demostraron que el COBOTMÓVIL es capaz de evitar colisiones con personas y obstáculos móviles gracias al sistema de "inflado de obstáculos" de 20 cm.

La integración 5G arrojó latencias de aproximadamente 20 ms, permitiendo el control remoto mediante la GUI sin retrasos perceptibles. La planificación de tareas a través de la máquina de estados resultó en una ejecución satisfactoria y autónoma del ciclo de transporte de material. El ancho de banda consumido se mantuvo por debajo de los 16 Mbps, optimizando el uso de la red móvil.

4. PRINCIPALES CONCLUSIONES

El entregable E29 detalla la fase de pruebas y validación del COBOTMÓVIL en un escenario de trabajo real, exponiendo resultados satisfactorios en áreas críticas como la representación interna del entorno, la localización precisa y la navegación autónoma. Asimismo, se han verificado con éxito las funciones de manipulación y planificación de tareas, demostrando la plena integración del dispositivo en el ecosistema productivo mediante el aprovechamiento estratégico de la tecnología 5G.

Todas las capacidades del sistema han sido evaluadas a través de un riguroso protocolo de pruebas documentado en este entregable, el cual confirma la viabilidad operativa de la plataforma. Se concluye que el sistema es completamente escalable, lo que permite la gestión remota de múltiples unidades de manipuladores móviles en diversas plantas industriales, utilizando una interfaz gráfica de usuario (GUI) soportada por redes 5G.