

**PROCESO PRODUCTIVO AVANZADO BASADO EN ROBÓTICA
FLEXIBLE DE GRAN FORMATO Y TECNOLOGÍAS
HABILITADORAS 4.0**

DELTAFORCE

Juan Carlos Piquero Cambor¹, Marcos Castaño Fernández²

¹ Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, juancarlos.piquero@idonial.com

² Idonial Centro Tecnológico, Gijón, España, marcos.castano@idonial.com

Resumen

Desde hace décadas, la robótica convencional optimiza la producción industrial en entornos controlados y de dimensiones reducidas. Sin embargo, carece de la flexibilidad, el alcance y la movilidad necesarios para operar sobre componentes de gran tamaño o estructuras constructivas, entornos donde la automatización sigue siendo un desafío.

Como alternativa surge la robótica de cables, una tecnología idónea para trabajar en grandes formatos y escenarios complejos. Si estos sistemas flexibles se integran con digitalización 3D e Inteligencia Artificial (IA), es posible automatizar tareas que hoy se realizan manualmente, como pintado, chorreado o reparación, eliminando las deficiencias asociadas en productividad, calidad y seguridad laboral.

En este marco nace el proyecto DELTAFORCE, una solución tecnológica innovadora que fusiona la robótica de cables de gran formato con herramientas de modelado digital e IA. Su objetivo es automatizar operaciones en grandes estructuras constructivas e industriales, logrando: reducción drástica de los tiempos de proceso, minimización de la carga de trabajo manual, garantía de calidad y cumplimiento de los más altos estándares de seguridad y sostenibilidad.

Con este enfoque, DELTAFORCE representa un avance disruptivo frente a las tecnologías actuales. Al proponer una alternativa eficiente para sectores históricamente complejos de automatizar, el proyecto marca un punto de inflexión en la industria de la construcción y la fabricación de grandes componentes.

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i CPP2024-011565, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER,UE

Palabras clave: robótica de cables, digitalización 3D, inteligencia artificial, construcción, fachadas, DELTAFORCE.

1. Situación actual y antecedentes

La construcción ha sido un pilar esencial en el progreso y la evolución de las sociedades. Históricamente, este sector ha actuado como un motor económico crucial, impulsando el crecimiento tanto en las etapas de fuerte expansión como en los periodos de madurez económica.

Al igual que otras industrias, la construcción [1,2] ha evolucionado continuamente adoptando innovaciones para responder a las demandas de cada época. En la actualidad, su sumersión en la era digital ha transformado radicalmente el sector en los últimos tres años. Hoy en día, cada etapa del proyecto, desde la planificación hasta la ejecución, se apoya en la tecnología y la gestión inteligente de datos. Esto permite a las empresas optimizar la producción actual y, al mismo tiempo, analizar la información recopilada para perfeccionar sus procesos futuros.

A pesar de la automatización parcial de diversas tareas y de la incorporación de maquinaria más eficiente, la construcción sigue registrando un bajo nivel de automatización global. Esto se debe, principalmente, a la alta variabilidad de los trabajos en cuanto a geometrías, dimensiones y disposición de los componentes. Esta dependencia de métodos predominantemente artesanales penaliza directamente la productividad del sector y condiciona la seguridad laboral.

Por otro lado, el sector no es ajeno, en ningún caso, al impacto en el medio ambiente que tienen sus actividades y en la necesidad de implementar cambios y soluciones que ayuden a mitigar el cambio climático.

En base a lo anterior, queda patente la necesidad del sector en avanzar hacia mejoras en la seguridad laboral, la productividad y la reducción de la huella de carbono. El sector de la construcción hace referencia a una industria compleja que abarca múltiples actividades y disciplinas, desde la obra civil, la edificación o la rehabilitación entre otros, cada una de las cuales con sus peculiaridades.

Una de las líneas prioritarias en la construcción es la rehabilitación integral de fachadas, que combina la restauración de elementos deteriorados, la renovación estética y la mejora del aislamiento térmico para cumplir con las normativas ambientales. Estas intervenciones son esenciales para preservar el patrimonio, garantizar la seguridad estructural, prolongar la vida útil de los inmuebles y reducir el consumo energético a largo plazo a través de tareas como la reparación de grietas, limpieza y aplicación de revestimientos protectores.

Sin embargo, la restauración de fachadas es un proceso complejo que presenta importantes desafíos logísticos, de productividad y seguridad [3,4,5]. El uso de andamios e infraestructuras temporales para trabajar en altura añade una gran dificultad, especialmente en entornos urbanos densos, donde estas estructuras impactan negativamente en la vía pública y las zonas peatonales.

Desde la perspectiva de la eficiencia, el montaje y desmontaje de andamios consume un tiempo considerable, lo que reduce la productividad e incrementa notablemente los costes del proyecto. Asimismo, el transporte de estos materiales genera un impacto ambiental negativo debido a la movilización de vehículos de carga, mientras que las labores en altura con estas estructuras provisionales elevan el riesgo para la seguridad laboral de los operarios.

Por otro lado, el proceso de restauración de fachadas se ejecuta actualmente de forma totalmente manual, con un nivel de automatización prácticamente nulo. Tareas clave como la limpieza de superficies, la reparación de grietas, el lucido con mortero y la pintura dependen directamente de la destreza y capacidad de los operarios.

Este enfoque intensivo en mano de obra ralentiza el ritmo de ejecución, eleva los costes laborales y penaliza la productividad global. Además, condiciona negativamente la seguridad del proyecto al obligar a los trabajadores a desplazarse y realizar esfuerzos físicos sobre andamios en altura.



Figura 1. Trabajos en fachadas

Uno de los mayores avances del siglo pasado en los procesos productivos industriales fue el vinculado a la introducción de sistemas robóticos capaces de realizar trabajos repetitivos rápidos, con alta calidad y con alta seguridad para los trabajadores.

A pesar de las ventajas de los robots industriales en las cadenas de producción, estos sistemas carecen de flexibilidad espacial y dimensional, ya que suelen ser fijos y operar en áreas de trabajo predefinidas. Estas restricciones de escala y alcance dificultan su aplicación en la construcción, un sector caracterizado por obras únicas con geometrías y tamaños variables. Para responder a estas demandas, se requiere un concepto robótico disruptivo: un sistema altamente flexible, transportable y fácilmente configurable en dimensiones y posicionamiento, con costes y tiempos de despliegue razonables.

Bajo esta premisa surge la robótica flexible mediante sistemas guiados por cables. Esta tecnología sustituye los brazos rígidos convencionales por cables accionados por motores en sus extremos para mover y posicionar la herramienta de trabajo. Su principal ventaja es que ocupa muy poco espacio y ofrece una versatilidad excepcional para adaptarse a diferentes dimensiones de trabajo e instalaciones.

Con el objetivo de superar las limitaciones existentes en los sistemas actuales, se plantea el presente proyecto DELTAFORCE, el cual propone el desarrollo de un sistema robótico de cables, portable, de fácil montaje y altamente flexible, pensado para realizar operaciones de precisión limitada y el manejo de herramientas o cargas de pocos kilogramos. Además, el proceso productivo abarcará un concepto más global mediante la integración de tecnologías de digitalización 3D, visión artificial y herramientas de inteligencia artificial, que permitan gobernar y optimizar de forma automatizada las diferentes operaciones y procesos. Este tipo de tecnología tendrá aplicación directa en operaciones constructivas, de diversa índole, destacando las realizadas en las actividades de rehabilitación de fachadas u otros elementos en disposición vertical.

2. Proceso de trabajo

2.1. Identificación de la necesidad de la intervención

El punto de partida del proyecto consiste en la identificación y formalización del motivo técnico que origina la activación del robot de cables, una delimitación inicial que resulta crítica para definir el alcance operativo, la configuración del sistema y el objetivo general de los trabajos. Cuando la actuación responde a un mantenimiento programado, las tareas se planifican en base a ciclos de exposición climática o fatiga estructural de los elementos de la fachada, buscando anticiparse a la degradación de los materiales mediante tratamientos preventivos o limpieza sistemática. En el caso de que la intervención se clasifique como una revisión periódica, el robot se despliega con su carga útil de sensores y sistemas de visión artificial para realizar una inspección exhaustiva que verifique el cumplimiento de las normativas de habitabilidad y seguridad estructural vigentes. Por último, ante la presencia de daños observados —como desprendimientos, grietas o filtraciones detectadas previamente—, la actuación adopta un carácter correctivo de urgencia, orientando los subsistemas del robot al diagnóstico de la causa raíz del defecto y a la ejecución de tareas de reparación localizada. De este modo, la correcta catalogación de la necesidad inicial no solo justifica el despliegue del equipo de robótica de cables, sino que establece los parámetros de control, las trayectorias prioritarias de la plataforma y los criterios de éxito que guiarán las fases posteriores del proyecto.



Figura 2. Fachada con grietas

2.2. Digitalización y documentación

Una vez definida la necesidad de la intervención, se procede al levantamiento geométrico digital de la superficie mediante el despliegue de equipos de visión artificial de alta precisión, tales como escáneres láser terrestres o sensores LiDAR embarcados. Este sistema barre de forma sistemática la totalidad de la fachada vertical para capturar una nube de puntos densa que, tras su procesamiento, genera un modelo tridimensional preciso y detallado que refleja con total fidelidad la estructura actual y el estado real del elemento constructivo. Dicho gemelo digital no solo permite identificar desviaciones, desplomes o patologías estructurales invisibles a simple vista, sino que sirve como base geométrica fundamental para que los algoritmos de control del robot de cables puedan planificar de manera segura las trayectorias de la plataforma y evitar colisiones durante las operaciones de reparación.



Figura 3. Digitalización y documentación tridimensional

Con el modelo tridimensional de la fachada consolidado, se ejecuta el montaje e instalación del robot de cables directamente sobre el plano vertical, eliminando por completo la necesidad de montar andamios convencionales o estructuras auxiliares de gran envergadura. El sistema se sustenta y posiciona mediante la fijación de cuatro puntos de anclaje estratégicos en los extremos de la fachada, desde los cuales se suspenden y tensionan los cables de alta resistencia que gobiernan los movimientos de la plataforma de trabajo por toda la superficie constructiva. Esta configuración electromecánica minimiza drásticamente el impacto ambiental al reducir la huella de carbono asociada al transporte e instalación de medios auxiliares pesados, al tiempo que incrementa de forma exponencial la seguridad operativa, disminuyendo los riesgos laborales por caída a distinto nivel y optimizando los tiempos de preparación del entorno de trabajo.



Figura 4. Montaje del robot

2.3. Identificación y valoración de patologías

Tras el despliegue del robot, la plataforma inicia su recorrido de exploración portando un sistema de visión combinado que integra sensores ópticos en color de alta resolución y cámaras multispectrales. Esta carga útil captura datos en diferentes bandas del espectro electromagnético, permitiendo que algoritmos de visión artificial y modelos de aprendizaje profundo previamente entrenados analicen la superficie en tiempo real. Mediante este procesamiento automatizado, el sistema es capaz de identificar, clasificar y georreferenciar de manera precisa diversas patologías presentes en el plano vertical —tales como microfisuras, grietas estructurales o humedades internas no visibles en el espectro óptico convencional—. La automatización de esta fase garantiza un mapa de daños exhaustivo y libre de errores

humanos, el cual indexa la severidad y las coordenadas exactas de cada defecto para programar de forma dirigida las acciones de reparación posteriores.



Figura 5. Identificación de patologías

2.4. Diseño de la intervención

A partir de los mapas de daños y la base de datos geoespaciales consolidados en la fase de inspección, el sistema de gestión del robot procesa la información para generar de manera automática un plan de acción detallado y optimizado. Este procedimiento algorítmico traduce las patologías detectadas en un listado secuencial de tareas técnicas específicas, definiendo con precisión milimétrica las coordenadas tridimensionales de la fachada donde se debe intervenir. El plan resultante no solo determina la naturaleza de las operaciones necesarias para cada zona, como el sellado de grietas o la aplicación de tratamientos antihumedad, sino que también optimiza el orden de ejecución y las trayectorias que debe describir la plataforma de cables, minimizando los tiempos de tránsito y asegurando un uso eficiente de los consumibles antes de iniciar la intervención física.



Figura 6. Diseño de intervención

2.5. Desarrollo de la actuación

Una vez validado el plan de acción, el robot de cables pasa de la fase de diagnóstico a la fase operativa, asumiendo la ejecución material de las tareas de reparación sobre la superficie vertical. Esta intervención física se hace posible gracias a la versatilidad de la plataforma móvil, la cual está diseñada para acoplar y alternar de forma modular un conjunto de utillajes y herramientas específicas desarrolladas para cada tipo de patología. De este modo, gobernado por los sistemas de control y

posicionado en las coordenadas exactas previamente planificadas, el efector final del robot es capaz de realizar operaciones complejas de manera automatizada, tales como la inyección y el tapado preciso de grietas, el fresado de juntas deterioradas o la aplicación homogénea de capas de pintura y recubrimientos protectores. La automatización de estos trabajos no solo garantiza una repetibilidad y calidad uniformes en los acabados técnicos, sino que elimina el factor de riesgo humano asociado a las tareas manuales en altura.



Figura 7. Desarrollo de la actuación

3. Conclusiones y ventajas esperadas del sistema

El proyecto DELTAFORCE plantea el desarrollo de un sistema robótico flexible de gran formato orientado a la automatización de operaciones sobre fachadas y estructuras verticales. Aunque el sistema se encuentra actualmente en fase de desarrollo, los resultados esperados permiten identificar un conjunto de ventajas potenciales relevantes frente a los métodos convencionales basados en trabajo manual, andamios e infraestructuras auxiliares.

Una de las principales ventajas previstas es la mejora de la productividad, al permitir automatizar tareas como inspección, limpieza, reparación localizada, aplicación de morteros, pinturas o recubrimientos. La utilización de un robot de cables de gran formato permitiría cubrir superficies amplias con tiempos de despliegue reducidos, disminuyendo los tiempos globales de intervención en comparación con procedimientos tradicionales.

Asimismo, el sistema presenta un elevado potencial para mejorar la seguridad laboral, al reducir la exposición directa de los operarios a trabajos en altura y minimizar la necesidad de uso de andamios. Esta ventaja resulta especialmente relevante en tareas de rehabilitación de fachadas, donde actualmente muchas operaciones se ejecutan de forma manual en condiciones de riesgo.

Otra ventaja significativa es la integración de digitalización 3D, visión artificial e inteligencia artificial, lo que permitiría generar modelos digitales de la superficie, identificar patologías, planificar trayectorias y documentar las actuaciones realizadas. Esta trazabilidad puede contribuir a mejorar la calidad del diagnóstico, optimizar la planificación de las intervenciones y reducir la variabilidad asociada a la ejecución manual.

Desde el punto de vista ambiental y urbano, la reducción o eliminación de andamios permitiría disminuir el impacto sobre el entorno, reduciendo ocupación de vía pública, molestias a peatones, interferencias con comercios y necesidad de transporte de estructuras auxiliares. Además, la aplicación automatizada y controlada de materiales podría favorecer una reducción del desperdicio y un uso más eficiente de recubrimientos y morteros.

En conjunto, DELTAFORCE representa una solución con potencial para avanzar hacia procesos constructivos más industrializados, seguros, digitalizados y sostenibles. Su aplicación futura podría extenderse no solo a fachadas, sino también a otros sectores que trabajan con grandes superficies o componentes verticales, como naval, eólico, petroquímico o energético.

4 Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de **DIGAFER**, empresa coordinadora del proyecto, por su implicación en el desarrollo tecnológico y la orientación industrial de las soluciones planteadas. Asimismo, se reconoce la contribución del equipo técnico de **IDONIAL Centro Tecnológico** en las actividades de investigación, diseño, desarrollo y validación de las tecnologías descritas en este trabajo.

Esta publicación forma parte del proyecto de I+D+i **CPP2024-011565 – DELTAFORCE**, financiado por **MICIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE**.

5 Bibliografía

- [1] Adecco Outsourcing. (2023). *II Barómetro Adecco Outsourcing sobre productividad y eficiencia*. Adecco Group.
- [2] United Nations Environment Programme. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. UNEP.
- [3] International Federation of Robotics. (2023). *World Robotics 2023: Industrial Robots*. IFR.
- [4] TECNALIA. *CRANEBOT: robótica de cables para manipulación y ensamblaje*. <https://www.tecnalia.com/activos/cranebot-robotica-de-cables-para-manipulacion-y-ensamblaje>
- [5] TECNALIA. *TECNALIA lidera el desarrollo del primer robot de cables para el montaje y mantenimiento de fachadas*. <https://www.tecnalia.com/sala-de-prensa/tecnalia-lidera-el-desarrollo-del-primer-robot-de-cables-para-el-montaje-y-mantenimiento-de-fachadas>