

UN DRON PARA INSPECCIONAR EL SUBSUELO

EN EL SUBSUELO DE LAS CIUDADES, Y DE MANERA SILENCIOSA, DISCURRE UNA ENORME RED DE COLECTORES QUE TIENE EL OBJETO DE EVACUAR LAS AGUAS RESIDUALES Y DE LLUVIA HASTA LA DEPURADORA MÁS CERCA, DONDE SON TRATADAS ADECUADAMENTE PARA SU DEVOLUCIÓN AL MEDIO RECEPTOR. ESTA RED DE COLECTORES SE PUEDE CLASIFICAR EN FUNCIÓN DE SI SON ACCESIBLES O NO POR EL PERSONAL ENCARGADO DE SU MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN. AQUELLOS COLECTORES MÁS PEQUEÑOS, DONDE ES IMPOSIBLE LA ENTRADA DE UNA PERSONA, Y POR LOS QUE TRANSCURRE UN CAUDAL PEQUEÑO DE AGUA RESIDUAL, SON INSPECCIONADOS POR MEDIO DE ROBOTS PREVISTOS DE RUEDAS Y UNA O VARIAS CÁMARAS PARA RECOGER EL ESTADO DEL COLECTOR QUE SERÁ EVALUADO, POSTERIORMENTE, CON EL VISIONADO DE LA INFORMACIÓN VIDEO GRÁFICA EN GABINETE.

Sin embargo, aquellos colectores donde su tamaño permite la entrada de personas, no pueden ser inspeccionados de la misma manera puesto que su tamaño lleva aparejado un mayor caudal de agua residual y una mayor velocidad de la misma, lo que hace inviable el funcionamiento de dicho robot. Por esta razón, estos colectores son recorridos habitualmente por el personal de inspección y mantenimiento que caminan, cuando es posible, por el andén lateral (por el que no hay agua en tiempo seco, pero que se inunda en tiempo de lluvia) en unas condiciones difíciles de visibilidad y de seguridad. Estos son los que se denominan “colectores visitables” y son sobre los que se va a desarrollar este proyecto.

Centrándonos en el caso de Madrid, Canal de Isabel II gestiona más de 15.000 kilómetros de colectores en la red de saneamiento de la Comunidad de Madrid, de los cuales, más de 2.400 kilómetros son visitables. Esta red de colectores visitables presenta una serie de características que dificultan las labores de inspección por parte del personal de Canal: los colectores más pequeños tienen una altura de 1,7 metros y su cota más baja en la red puede alcanzar una profundidad de 25 metros, a lo que hay que añadir la acumulación de sustancias que acarrear riesgo para la salud en grandes cantidades (fango, embolsamiento de gases ...). Además, el ambiente es corrosivo para los instrumentos de medida e instalaciones eléctricas necesarias en el colector. El mantenimiento de este tipo de instalaciones requiere de la inspección in situ para verificar el estado de estas y decidir sobre la priorización de las actuaciones necesarias.

Desde Canal de Isabel II se está impulsando, mediante una Compra Pública Precomercial, el diseño, fabricación y posterior validación de un dron autónomo y autoguiado que realice las inspecciones, mejorando los resultados de las inspecciones actuales en diversos aspectos que pasamos a relatar a continuación:

El primero es el aumento de la seguridad del personal de inspección; y es que, hasta la fecha, la inspección de un colector visitable se realiza por una brigada de campo que visita periódicamente la red en busca de fisuras, obstrucciones u otras anomalías. Esta brigada de campo está compuesta por un total de tres personas que, durante la fase de inspección, se organizan de la siguiente manera: dos personas se adentran en el colector y realizan la inspección propiamente dicha, mientras que la tercera se queda en la superficie.

El personal de apoyo en superficie tiene un papel fundamental en la seguridad de los otros dos miembros de la brigada, que se verán expuestos a un ambiente contaminante en un espacio confinado, con riesgo de caída o resbalamiento por existencia de fangos, lo que puede provocar incluso que entren en contacto con el agua residual.

Pese a todos los esfuerzos por garantizar la seguridad del personal durante las inspecciones, estas actividades nunca estarán exentas

A DRONE FOR UNDERGROUND INSPECTION

A VAST NETWORK OF SEWERS RUNS UNDER OUR CITIES FOR THE PURPOSE OF CARRYING WASTEWATER AND STORMWATER TO THE NEAREST WASTEWATER TREATMENT PLANT, WHERE IT UNDERGOES PURIFICATION TO MAKE IT SUITABLE FOR DISCHARGE INTO THE RECEIVING MEDIA. THESE SEWERS CAN BE CLASSIFIED BY WHETHER OR NOT THEY ARE ACCESSIBLE TO THE PERSONNEL CHARGED WITH THEIR MAINTENANCE AND INSPECTION. THE SMALLEST SEWERS, WHICH CARRY A SMALLER FLOW OF WASTEWATER AND WHERE IT IS IMPOSSIBLE FOR A PERSON TO ENTER, ARE INSPECTED BY ROBOTS FITTED WITH WHEELS AND ONE OR MORE CAMERAS TO RECORD THE STATUS OF THE SEWER, WHICH IS SUBSEQUENTLY EVALUATED BY SUPERVISORY STAFF ON VIEWING THE VIDEO INFORMATION.

However, sewers whose size enables the entrance of people cannot be inspected in the same way. This is because their size goes hand-in-hand with a greater wastewater flow and a higher flow rate, making the deployment of robots unfeasible. For this reason, such sewers are generally inspected and maintained by staff who walk, wherever possible, on the side platform (in dry weather, this platform is dry but in wet weather it becomes flooded). Such operations are carried out in difficult conditions with respect to visibility and safety. The project described in this article will be carried out in “walkable” sewers such as these.

Canal de Isabel II manages over 15,000 kilometres of sewers in the Autonomous Community of Madrid. Over 2,400 kilometres of this network are walkable. These walkable sewers feature a number of characteristics that hamper the inspection work carried out by Canal staff. The smallest of them have a height of 1.7 metres and they can be located at depths of up to 25 metres. Added to this is the accumulation of substances that can be hazardous to health in large quantities (sludge, gas pockets...). Moreover, the environment is corrosive for the measuring instruments and electrical installations needed in the sewer. Maintenance of these types of installations requires on-site inspection in order to verify their status and make decisions regarding the prioritisation of actions required.

Canal de Isabel II, through Pre-Commercial Procurement, is promoting the design, manufacture and subsequent validation of an autonomous, self-flying drone to carry out inspections and improve the results of current inspections in a number of areas which will be outlined below:

This first improvement sought is increased safety for inspection staff. Walkable sewer inspections are currently carried out by field crews who periodically visit the network in search of cracks, obstructions and other anomalies. Field crews are made up of three workers, with two of them entering the sewer to carry out the inspection as such, while the third member of the crew remains overground.

Overground support staff play a vital role in the safety of the other two crew members, who are exposed to a polluted environment due to the presence of sludge. Moreover, the slippery conditions can even cause workers to enter into contact with the sewage.

Despite efforts to guarantee the safety of staff during inspections, these operations will never be free of considerable risk. The risk would be greatly reduced if inspections were carried out by drones.



de un riesgo considerable, que se verá considerablemente reducido si se realizan las inspecciones mediante drones.

Esta búsqueda de un mayor estándar de seguridad para el personal de inspección y mantenimiento, es lo que hace descartar a todos aquellos drones que han de ser tripulados (desde el interior del propio colector o desde la superficie en caso de que la profundidad lo permita), centrándose el proyecto en drones autoguiados, que de manera autónoma puedan tomar decisiones sobre la ruta (que al ser en el interior de un colector ha de ser necesariamente lineal), la autonomía, la distancia a los paramentos, la información a recopilar, etc.

La siguiente mejora que se busca con este proyecto, es dotar de mayor calidad al sistema de registro de información de la inspección. Habitualmente, las labores de inspección devuelven como resultado un informe donde se recoge información sobre fisuras, obstrucciones u otras anomalías que el personal considera relevantes. Esta documentación se procesa posteriormente en gabinete y es la que permite priorizar las medidas de actuación que sean necesarias.

Sin embargo, dado que la información que se recoge depende del criterio de los miembros de la brigada, los resultados de la inspección pueden no ser recogidos de manera homogénea dado que pueden existir diferencias de criterio en el personal que inspecciona los colectores y decide dónde hay un problema del que hay que recoger información por medio de fotografías. Puede ocurrir, por ejemplo, que la brigada pase por alto algunas deficiencias en la red lo que impide la necesaria reevaluación posterior en gabinete. Este “factor humano” no se explica únicamente por diferencias de criterio, sino que se ve agravado por el hecho de trabajar en un entorno hostil y con unas condiciones de iluminación reducidas.

Gracias a la inspección mediante drones, la información recogida obedecerá a criterios más homogéneos, lo que permitirá un análisis más sistemático del estado de limpieza y conservación del estado de las galerías y colectores. De este modo, se podrán tomar decisio-

This quest for a greater standard of safety for inspection and maintenance staff means that drones that have to be controlled by an operator (either from within the sewer itself or from the ground above in cases where the depth allows this) have been ruled out. The project is, therefore, focusing on self-guided drones capable of autonomous decision-making on matters such as the route (necessarily linear within a sewer), the range, distance from parameters, information to be gathered, etc...

The second improvement sought in this project is a higher-quality information recording system. Inspections generally result in a report containing information on cracks, obstructions and other anomalies considered relevant by staff. This report is subsequently processed by the supervisory office, which enables prioritisation of the actions required.

However, given that the information gathered depends on the criteria of the crew members, inspection results are not collected homogeneously. There can be differences in the criteria of inspection staff and how they determine when it is necessary to collect photographic information of issues. For example, the crew may overlook certain network deficiencies, meaning that the necessary reassessment of these faults cannot be carried out subsequently by the supervisory office. This “human factor” is not just limited to differences in criteria. It is exacerbated by the fact that staff are working in a hostile atmosphere with inadequate lighting conditions.

Inspection with drones would make the information collected more homogenous, which would enable more systematic analysis of the cleaning and conservation requirements of tunnels and sewers. In this way, it would be possible to make better-informed decisions on the programming of maintenance, cleaning and upgrading of installations.

Recording information by means of drones would also enable the experts who carry out inspections of walkable sewers to

nes más informadas en cuanto a la programación de mantenimiento, limpieza y mejora de las instalaciones.

La grabación mediante drones supondrá también dedicar al personal experto de inspección de visitables a la revisión de ese material obtenido de forma que puedan, en un entorno más amigable y asistido, hacer un mejor y más homogéneo análisis del estado de conservación y limpieza de dichos colectores.

Características del dron

Con los objetivos anteriormente descritos en mente, el dron que se está desarrollando contará con las siguientes características:

- **Autoguiado**, es decir, tendrá capacidad de desplazarse con seguridad por el tramo de inspección y además ser capaz de tomar decisiones acerca de hacia dónde circular en aquellos nudos en que confluyen más de dos colectores con diferentes direcciones y sentidos. La inspección será ejecutada bajo la supervisión de un equipo que pondrá en marcha el dron en el exterior, recogerá los resultados y dará mantenimiento al equipo. En caso de fallo de equipo, caída al agua o impacto, el equipo monitorizará el vehículo mientras se encuentra en el interior de la red.
- **Función "Failsafe"** que permitirá la vuelta al punto de salida o aterrizaje en caso de que se detecte alguna anomalía.
- **Capacidad para grabar y almacenar datos** del entorno próximo al dron en diversos formatos y con diversos sensores y módulos que pueden ser adaptables al colector y ambiente específico donde se va a llevar a cabo la inspección.
- **Protección frente al agua**, de manera que, en caso de caída del vehículo aéreo, éste flotará en la superficie sin perder la funcionalidad de los componentes principales.
- **Protección frente a choque fortuito** contra paramentos u obstáculos puntuales.
- **Capacidad de volar en espacios confinados** como galerías y colectores visitables.
- **Autonomía** suficiente que permita la ejecución de una inspección del tramo programado en condiciones normales.

La Compra Pública Precomercial (CPP)

Actualmente, si bien existen drones capaces de volar en espacios confinados mediante el pilotado manual o semi-manual, no se encuentran disponibles drones totalmente autónomos y autoguiados que permitan la toma de decisiones y la adquisición de datos con la ambición que Canal de Isabel II se ha puesto como objetivo. La propuesta de utilización de drones autoguiados para la inspección de espacios confinados a gran profundidad es, por tanto, pionera e innovadora. Tras un análisis exhaustivo de las distintas opciones existentes en el mercado para ofrecer esta tecnología, se ha concluido que actualmente no existe una solución que satisfaga las necesidades de Canal de Isabel II, aunque sí existen por separado los componentes necesarios para construir el prototipo de dron buscado.

Las características de este proyecto permiten tratarlo como una Compra Pública Innovadora, instrumento mediante el cual se potencia el desarrollo de nuevos mercados innovadores a través de la contratación pública.

La Compra Pública Precomercial es una modalidad de Compra Pública Innovadora que se centra en la búsqueda de soluciones a posibles demandas futuras. A través de las actividades de investigación y desarrollo que se promocionan con esta modalidad contractual, las entidades del sector público pueden abordar necesidades para las cuales no existe una solución en el mercado. El objetivo es facilitar el desarrollo rentable de soluciones innovadoras para los servicios públicos.

be deployed in the assessment of this information. Thus, they could make a better and more homogenous analysis of the state of the sewers in terms of cleaning and conservation requirements, and do so in a more hospitable and favourable environment.

Characteristics of the drone

Bearing in mind the aforementioned objectives, the drone under development will have the following features:

- It will be **self-flying**, i.e., it will have the capacity to move safely through the inspection section and, in addition, be capable of making decisions as to which direction to take at nodes where there is a confluence of more than two sewers with water flowing in different directions. The inspection will be executed under the supervision of a team that will put the drone into operation from outside the sewer, collect the results and be responsible for maintenance of the unit. In the event of a drone failure, or if the drone falls into the water or suffers an impact, the team will monitor the vehicle throughout the period in which it is inside the network.
- It will have a **"Failsafe" function** to enable the drone to return to its point of departure or land in the event that an anomaly is detected.
- It will have the **capacity to record and store data** on the environment within its vicinity in different formats and with different sensors and modules that can be adapted to the specific sewer and environment in which the inspection is to be carried out.
- It will feature a **system to protect against damage** caused by water. In the event of a fall, it will float on the surface without losing the functionality of its main components.
- It will feature **protection against fortuitous collisions** with parameters or obstacles.
- It will have the capacity to **fly in confined spaces** such as tunnels and walkable sewers.
- It will have **sufficient range to execute the inspection** of the programmed section in normal conditions.

Pre-Commercial Procurement (PCP)

Although drones capable of flying in confined spaces with manual or semi-manual steering currently exist, fully autonomous, self-flying drones with the decision-making and data acquisition capabilities that Canal de Isabel II seeks are not as yet available. The proposal to use self-flying drones for the inspection of confined spaces at great depth is, therefore, a pioneering and innovative one. Following exhaustive analysis of existing market options for the supply of this technology, it was concluded that there is currently no solution available to satisfy the needs of Canal de Isabel II. However, the individual components needed to build a prototype of the required drone do exist.

The characteristics of this project enable it to be classified as Public Procurement of Innovation, an instrument through which the development of new innovative markets is fostered through public procurement.

Pre-Commercial Procurement is a form of Public Procurement of Innovation that focuses on the search for solutions to satisfy potential future demands. Through the research and development activities promoted by means of these types of contracts, public sector entities can address needs for which solutions are not available in the market. The objective is to facilitate the profitable development of innovative solutions for public services.

En términos de Grado de Madurez de la Tecnología o TRL (Technology Readiness Levels), esta tecnología se encuentra en un nivel TRL 3, o lo que es lo mismo, su madurez ha llegado a una “Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica”. El diseño que se propone supondrá elevar el Grado de madurez a un TRL 7 “Demostración del sistema o prototipo en un entorno real”.

El procedimiento de Compra Pública Precomercial se desarrollará en distintas fases:

Fase 0. Convocatoria y selección de propuestas

Las empresas interesadas presentarán sus propuestas innovadoras para satisfacer los requisitos establecidos. Posteriormente se analizarán las ofertas presentadas de acuerdo con los criterios de valoración técnica y económica establecidos. Se seleccionarán hasta cinco empresas que cumplan con los requerimientos mínimos y que deberán desarrollar su diseño en una fase posterior.

Fase 1. Exploración de soluciones

En esta fase se desarrollan las cinco propuestas seleccionadas previamente, resultando un proyecto detallado que definirá el prototipo a desarrollar posteriormente. De nuevo se valorarán las propuestas recibidas y se seleccionarán un máximo de tres prototipos para la siguiente fase.

Fase 2. Construcción de Prototipos Funcionales

En esta fase se desarrollan y se construyen los Prototipos Funcionales, realizándose pruebas en entornos controlados o simulados para comprobar su funcionamiento. Como resultado de la valoración de los distintos prototipos, se seleccionarán hasta un máximo de dos propuestas para realizar un prototipo definitivo en la siguiente fase.

Fase 3. Estudio y análisis de viabilidad de las soluciones

En esta fase, los prototipos funcionales seleccionados se mejoran, se construyen en su diseño definitivo y se prueban en un entorno real. En base a los resultados obtenidos en las pruebas se valorarán los prototipos definitivos y se seleccionará el que tenga un mejor resultado.

Al final del procedimiento, Canal de Isabel II podrá comprar a la empresa cuyo prototipo resultó seleccionado hasta dos unidades del dron final en forma de serie de pruebas.

Actualmente se ha finalizado la fase 0 del proyecto y en pocos días finalizará la fase 1 por lo que a final del año 2019 o principios de 2020 se podrá contar con los primeros prototipos de drones autónomos y autoguiados para la inspección de colectores visitables de alcantarillado (y otro tipo de galerías) permitiendo, por tanto, una mejora sustancial en las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores del subsuelo así como una optimización de las tareas de mantenimiento y resolución anticipada de problemas en esa red de drenaje urbano y alcantarillado que discurre en el subsuelo de nuestras ciudades, y que nos ayuda a tener una mejor calidad de vida sin (casi) darnos demasiados problemas.

In terms of Technology Readiness Levels (TRL), this technology is at TRL 3, meaning that its degree of maturity has reached “Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept”. The proposed design would mean increasing the degree of maturing to TRL 7 “System prototype demonstration in operational environment”.

The Pre-Commercial Procurement procedure is carried out in different phases:

Phase 0. Call for tenders and proposal selection

Interested enterprises will submit their innovative proposals to satisfy the established requirements. The tenders submitted will be analysed in accordance with the established criteria for technical and economic evaluation. Up to five enterprises whose proposals meet the minimum requirements will be selected to develop their designs in a subsequent phase.

Phase 1. Solution exploration

This phase will see the development of the five proposals selected previously, resulting in a detailed design that will define the prototype to be developed subsequently. Once again, the proposals received will be evaluated and a maximum of three prototypes will be selected for the following phase.

Phase 2. Construction of Functional Prototypes

The Functional Prototypes will be developed and built during this phase. Testing will be carried out in controlled or simulated environments to check functioning. Evaluation of the different prototypes will result in the selection of a maximum of two proposals for the creation of a definitive prototype in the next phase.

Phase 3. Study and analysis of solution feasibility

In this phase, the Functional Prototypes selected will be optimised. They are built in accordance with their definitive final designs and tested in a real operating environment. The definitive prototypes will be evaluated based on the results obtained in the tests and the prototype with the best results will be selected.

At the end of the procedure, Canal de Isabel II will have the option of purchasing up to two units of the final drone in the form of a test series from the enterprise whose prototype has been selected.

Phase 0 of the project has now been completed and Phase 1 will conclude within a matter of days. Therefore, by the end of 2019 or the beginning of 2020, the first prototypes of autonomous, self-flying drones for the inspection of walkable sewers (and other types of tunnels) will be available. This will enable a substantial improvement in health and safety conditions for underground workers. It will also permit optimisation of maintenance operations and rapid solutions to issues in the urban drainage and sewerage networks running under our cities, networks which help us enjoy a better quality of life, without giving us (too many) problems.



Antonio Lastra de la Rubia

Coordinador de Innovación de Red. Subdirección de I+D+i – Canal de Isabel II
Coordinator of Network Innovation. Sub-directorate of R&D&i – Canal de Isabel II