

n Entrevista a Pablo Sáez Villar, director gerente de ACEX, (Asociación de Conservación y Explotación de Carreteras)

n El próximo mes de junio se celebrará la Asamblea General Ordinaria del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

## La ingeniería hidráulica de los Incas

# Cimbra

REVISTA DEL COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS



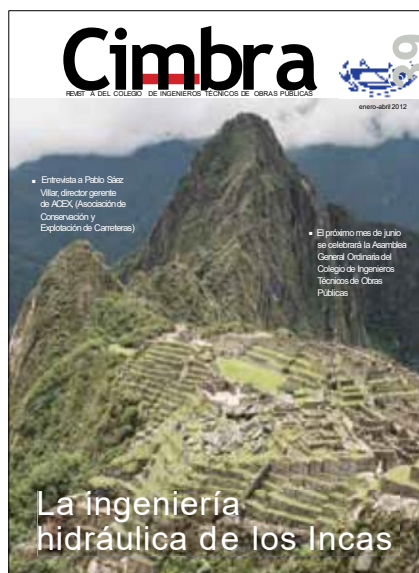
Presidente: Joan Sánchez i Romani  
Dirección Técnica: Eloy Quintana Ortiz  
Dirección periodística: Nuria Yáguës Pérez  
Dirección de Arte: ARTIS&PRESS  
Comité de Redacción: Paul Alba Molina, Lorenzo Correa Lloreda, Fernando Haza Rodríguez y José Matud Bonel.

Colaboran en este número:  
Nuria Yáguës Pérez, Lorenzo Correa Lloreda, Alejandro Alañón Juárez, Anastasio P. Santos Yáguas, María Jesús Vázquez Galo, A. Benitez Lazaga, Carmen Barnejo, Manuel Mateos de Vicente.

EDITA:  
Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas  
C/ José Abascal, 20, 1º  
28003 Madrid  
Tel: 91 451 69 20  
Fax 91 451 69 22  
email: [consejo@otop.es](mailto:consejo@otop.es)

Diseño y Maquetación: ARTIS&PRESS  
Impreme: CoÉs  
Depósito Legal: M-422-1964  
ISSN: 0210-0479

El Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas no comparte necesariamente las opiniones expresadas en las colaboraciones ya que los firmantes son totalmente independientes y, por tanto, no se hace responsable del contenido de los artículos.



## Editorial

### Entrevista

En este número de Cimbra hemos entrevistado a Pablo Sáez Villar, director gerente de ACEX (Asociación de Conservación y Explotación de Carreteras), asociación que representa a las principales empresas de este sector. Entre otras cosas, nos explica, durante la entrevista, que ACEX centra sus esfuerzos en hacer ver a la clase política la importancia de la actividad de la conservación, que es muy poco valorada pero trascendental para que las infraestructuras sirvan para lo que fueron construidas.

### Actualidad profesional

#### Emprendedores, sostenibilidad y microempresas: tres palabras claves para afrontar el futuro

Organizado por la Zona de Madrid del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, en colaboración con la Asociación Española Multisectorial de Microempresas (AEMME), se han celebrado unas jornadas sobre "Emprendedores, sostenibilidad y microempresas".

### En Portada

La ingeniería hidráulica de los incas  
Entre los artículos técnicos que se publican en este número, destacamos el de la ingeniería hidráulica de los incas. En el año 2000, el ingeniero civil norteamericano Kenneth Wright publicó junto con el arqueólogo peruano Alfredo Valencia, un interesante libro titulado "Machu Picchu. Maravilla de la ingeniería civil". En él se desarrolla una apasionante investigación sobre el sistema de abastecimiento y drenaje de la ciudadela de Machu Picchu.

### Noticias del sector

Entre las noticias de actualidad traemos a nuestras páginas el anuncio del Ministerio de Fomento sobre el Nuevo Plan de Infraestructuras, Transportes y Vivienda, así como el impulso a la conexión Madrid-Galicia de alta velocidad. También se recogen otras novedades del sector y nuevas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil.

### Noticias del Colegio

El próximo mes de junio se celebrará la Asamblea General Ordinaria del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. Con esta información se abre la sección dedicada a noticias colegiales. Incluimos también la Declaración sobre los nuevos títulos de Graduado en Ingeniería, así como todas las actividades más destacadas realizadas en desde las distintas zonas.

0  
5  
0  
6



1  
0



1  
6



5  
2



6  
2



# Adquisición de imágenes y vídeos desde el aire

Publicamos en este número de la revista Cimbra un nuevo sistema de adquisición de datos desde el aire, llamado genéricamente "UAV" ("Unmanned Aerial Vehicle" y en español VAT "Vehículo Aéreo no Tripulado). Los responsables de este sistema, poco conocido y poco empleado en España, describen las múltiples aplicaciones que puede tener en el campo de la ingeniería civil este quadcopter con "FPV" ("Vuelo en Primera Persona"), al que le han puesto el nombre de "ELFO II".

---

**Carmen Bermejo**

Ingeniera Técnica Agrícola  
Recursos Técnicos Madrid, S.L.

---



El "ELFO II" preparado para comenzar el trabajo.

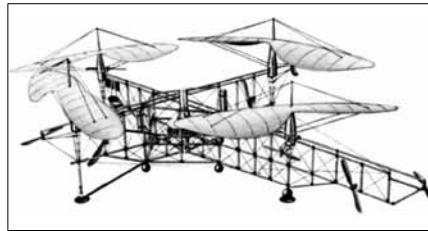
## UN POCO DE HISTORIA SOBRE LOS UAV

Los vehículos aéreos sin tripulación humana son conocidos bajo las siglas UAV ("Unmanned Aerial Vehicle"), o más

generalmente UAS ("Unmanned Aerial System"). Su historia comienza el 4 de mayo de 1924, cuando el ingeniero francés de la École Centrale Paris Étienne Oehmichen (1884-1955) construyó un helicóptero compuesto de cuatro rotores despegue vertical.

La potencialidad de los UAV (Unmanned Aeronautical Vehicle) comenzó su desarrollo desde la primera Guerra Mundial y marcó un hito durante la Segunda con el lanzamiento de las V1 y V2 alemanas. Si bien su utilización tuvo en un principio fines militares, o como juguetes (a modo de hobby caro en el campo del aeromodelismo), en la actualidad se viene empleando en aplicaciones civiles de vigilancia, control, fotogrametría, intervención en accidentes, catástrofes, cine, conservación del medio ambiente y un largo etcétera como describiremos mas adelante.

La tecnología básica no es una novedad. Un modelo de helicóptero se remonta a 1967, cuando Schlueter expuso su primer sistema (cinco años más tarde apareció un juego de piezas para su construcción). El primer uso fotogramétrico profesional fue reportado por Wildfried Wester-Ebbinghaus (Universidad de Hannover) en 1980 que utilizó tal sistema para la monitorización en la construcción del monorail de Wuppertal (Alemania). En aquellos tiempos, por supuesto, no estaban disponibles los modelos autopilotados con tecnologías GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation Systems), ni tampoco las cámaras digitales. Desde entonces se han desarrollado muchos inventos y los sistemas se han hecho mucho más potentes: más tecnologías con plataformas diversas y de propulsión, utilización de cámaras digitales, inte-



Étienne Oehmichen. Mayo de 1924



Recursos Técnicos Madrid. Enero 2012

Entre el modelo de Étienne Oehmichen y el ELFOI median 88 años



Mayo de 1924



Enero 2012

Monorail de Wuppertal (Alemania).

Reinert, Leonardo. Schwebbahn de Wuppertal.

<http://notasperdidasenlweb.blogspot.com.es/2010/03/schwebbahn-de-wuppertal.html>

gración de GPS y de INS para el vuelo autónomo, estabilizadores para un preciso direccionamiento del eje de la cámara, más flexibilidad tanto en los patrones de vuelo como en la toma de imágenes, y capacidades de procesamiento muy rápidas.

### Plataformas UAV's

La diversidad de aplicaciones es ya enorme e incluso aumenta día a día, siendo ésta una de las razones por las que muchas empresas demandan este servicio. Las otras razones son la aparente facilidad de funcionamiento de estos dispositivos aéreos y los beneficios económicos que esta tecnología ofrece abaratando los importantes costes en la adquisición de datos.

Las plataformas UAV's tienen frente a otras técnicas y herramientas para toma de datos una gran cantidad de ventajas significativas, destacando entre ellas:

- Flexibilidad en el diseño de sensores e integración, adquisición

de datos y patrones de vuelo (navegación, altura de vuelo). La elección de la cámara de grabación puede optimizarse según los requisitos del servicio o proyecto. Las alturas de vuelo pueden variar grandemente (se suele volar a alturas desde 50 a 400 metros del suelo) y, por tanto, variar la cobertura de imagen como la huella del pie (resolución del suelo). Existe la posibilidad de producción de imágenes verticales, oblicuas u horizontales desde una plataforma (dispositivo o cópter), y incluso durante un vuelo. Esto es lo más importante: la modelización de proyectos verdaderamente en 3D requiere imágenes de multi-gestión.

- Aplicación en situaciones de alto riesgo. La ausencia de personas a bordo permite ejecuciones de riesgo más alto.
- Vuelo cercano a objetos. Partes de objetos que de otra forma

serían inalcanzables o bien costaría grandes esfuerzos, pueden ser grabadas.

- Rápido proceso de datos (descargas, capacidades on-line y en tiempo real. Típicamente, aunque no siempre, los proyectos UAV cubren zonas relativamente pequeñas con imágenes de formato pequeño o medio. Esto permite un proceso eficaz de datos en campo. Así, la validación de datos y las correcciones de proyectos puede ser realizadas mientras todavía se permanece in situ (aspecto de gran importancia pues evita la repetición de muchos desplazamientos).
- Calidad de los datos obtenidos. Con este sistema se puede controlar todo el proceso fotogramétrico en su totalidad y desde el terreno, pudiendo planificar todo el proyecto personalmente, ejecución de vuelo, proceso de datos, representación de resultados, etc. Para los ingenieros esa posibilidad representa un arma de gran interés y eficacia.

A continuación enumeramos algunas de las muchas aplicaciones para que sirvan de punto de partida a muchas otras:

- Arquitectura e ingeniería: determinación de fisuras en presas. Seguimiento periódico de proyectos de ingeniería y medio ambiente.
- Inauguraciones de obras.
- Agronomía, cartografía, ortofotografía, arquitectura, planeamiento y ordenación del territorio, medio ambiente, arqueología, control de estructuras, mediciones de terrenos, investigación policial (reconstrucción de accidentes).
- Zoología (determinación de hábitats). Inspección de líneas de alta y media tensión.



El "ELFO II" trabajando.

- Inmobiliarias: promoción y venta de inmuebles (fotos y películas para documentar el mismo y su entorno).
- Arqueología, bellas artes, cine, topografía.
- Medio ambiente, caza, pesca, deportes, bodas, celebraciones de todo tipo. Apoyo a los estudios de fotografía y cine.
- Deporte: retransmisiones de deportes que se practican en lugares de difícil acceso (golf, escalada, motocrós) o lugares amplios por lo que habría que instalar menos cámaras e inclusive prescindir de trenes y dollies.
- Cinematografía: coma de imágenes fijas o en movimiento para cine, anuncios publicitarios, reportajes.
- Vigilancia/control de áreas: control de áreas en contraposición o en apoyo de sistemas fijos o en persona. Empresas de video vigilancia: Para efectuar rondas.
- Transporte de pequeños objetos a lugares inaccesibles o realiza-

ción de tareas (con el correspondiente componente habilitado para realizar dichas tareas).

- Sustitución del helicóptero convencional en multitud de ocasiones.

Otras características relevantes y campos de aplicación son:

- La estabilidad y precisión del aparato/imagen/toma de datos es lo más importante.
- Reduce costes: mucho más económico que el helicóptero convencional, tanto el aparato en sí como el alquiler del servicio.
- Control e inspección de perímetros, para cubrir grandes superficies (oleoductos, bosques...): con un solo equipo se cubre un área extensa pudiendo automatizar el recorrido.
- Ahorra tiempo de ejecución en la toma de datos comparado a sistemas tradicionales de topografía, cartografía, etc. automatizando recorrido del aparato vía GPS y similares. En unas horas puede hacerse el trabajo de días.



Inspección de líneas eléctricas con el "ELFO II".



Toma de datos en una Iglesia.



- Accesibilidad, maniobrabilidad. Tamaño/peso reducido (importante para transporte y almacenaje).
- Alcance que proporcionan las baterías entre 20-30 minutos de vuelo sin repostar, con radio de acción de más de un kilómetro utilizando vuelo FPV.

Las ventajas derivadas de la utilización del "quadcopter" deben ser analizadas frente a ciertos problemas inherentes a esta tecnología, como son:

- Permisos de vuelo: las regulaciones y condiciones legales para los vuelos UVA difieren enormemente de un país a otro y también dependen de varios factores, como la localización del vuelo, altura del mismo, tamaño de plataforma, frecuencia de las comunicaciones, etc.
- También el vuelo seguro requiere una gran responsabilidad.

- No pueden solucionar problemas de obstáculos que no hallan sido previstos, a menos que se disponga de sensores de proximidad.
- Requieren un piloto experto. Esto no es solamente para accio-

nar el dispositivo, sino por razones de reparación (normalmente menores), sobre todo en desplazamientos alejados de la base.

- Las alturas de vuelo, tanto absolutas como relativas pueden estar limitadas por normativas.

## SISTEMA "ELFO II"

Un sistema de adquisición de datos desde el aire, tal como el "ELFO II" (desarrollado por el equipo de RTM), tiene como base un chasis de fibra de carbono, y es utilizado para la toma de fotos y videos en alta resolución incluso más allá del alcance visual mediante vuelo FPV ("First Person View" o "vuelo en primera persona").

Un "quadcopter" se compone básicamente de un multirroto, 4 motores de alto rendimiento montado en X sobre un chasis de fibra de carbono dotado con un avanzado sistema de navegación inercial (GPS+IMU<sup>1</sup>), guiado remotamente a través de radioenlace y GPS. Una cámara estabilizada en alta resolución completa el conjunto con enlace vía radio, lo que permite volar sobre recorridos programados. El sistema cuenta con



Lo que observa el operador en tiempo real (imagen en baja resolución con controles de cámara)



Antena de seguimiento para recibir video en tiempo real (vuelo FTP) mediante dos motores sincronizados con el GPS



Gracias al GPS integrado se mantiene en el aire en una posición fijada en tiempo real y sin intervención del operador

despegue y aterrizaje autónomos. En definitiva, un quadcopter como el que se describe, es la combinación de un aparato de vuelo teledirigido que con aplicaciones informáticas de CAD, GIS y tratamiento de imágenes, permite afrontar proyectos para la obtención de modelos 2D y 3D, a partir de técnicas fotogramétricas y otra serie de aplicaciones de correlación de imágenes. El piloto recibe imágenes y controla el multirrotor tal como lo haría si estuviese dentro de la cabina de un avión.

Las imágenes grabadas son de alta resolución y, simultáneamente, el operador observa la imagen en una resolución inferior a la tomada por la cámara puesto que recibe en tiempo real en PAL.

En el control y vigilancia de obras, así como en levantamientos topográficos discretos, la capacidad FPV unida

a la programación de rutas utilizando coordenadas GPS, permite acceder a lugares y obtener fotos y videos desde alturas y posiciones imposibles de adquirir por otros procedimientos. Incluso en proyectos en los que habitualmente se utilizan helicópteros tripulados, y en muchos casos es posible sustituirlos con un ahorro considerable y con un mayor respeto al medio ambiente, dado que utiliza motores eléctricos.

Gracias a los giróscopos se consigue la máxima estabilidad, seguridad en el vuelo y capacidad para seguir rutas previamente programadas, obteniendo imágenes en alta definición altamente estables.

### Seguimiento sobre cartografía

Estos aparatos voladores, conocidos como UAV's, cuentan con sistemas de posicionamiento GPS independientes, empleados tanto para realizar el seguimiento sobre cartografía 3D utilizando aplicaciones cartográficas diversas con soporte GPS, como por ejemplo "Google Earth".

El GPS también es utilizado para el control de navegación, seguimiento, control en altura, la facultad de "vuelta a casa" y "aterrizaje de emergencia", lo que asegura que el aparato no va a efectuar una caída por falta de combustible eléctrico; un segundo GPS

tiene como misión dirigir la antena de tierra dotada de dos servomotores al lugar donde se encuentre el "ELFO II" en un instante cualquiera.

Dos emisores y un receptor multi-canal facilitan el control del quadcopter desde tierra. Un primer receptor controla las señales que envía el piloto desde tierra para dirigirlo a los objetivos y controlar su posición, bien en vuelo visual o en vuelo virtual, un primer emisor es el encargado de enviar las imágenes que recoge la cámara de vuelo a la estación tierra y un segundo emisor-receptor tiene como finalidad enviar las coordenadas y recibir las instrucciones de seguimiento en pleno vuelo y en tiempo real.

### Aplicaciones en ingeniería civil

Las aplicaciones derivadas de la utilización en ingeniería son innumerables, y entre las todas cabe destacar la capacidad para ejecutar levantamientos en 3D de zonas discretas siguiendo rutas programadas y de manera enteramente desasistida, disponiendo para ello de un conjunto de herramientas de software y hardware que posibilitan dirigir el multirrotor sobre puntos de coordenadas (X, Y, Z) previamente programados, permitiendo al mismo tiempo reprogramar remotamente en tiempo real y modificar el recorrido (tracking) previo.



Pantalla de seguimiento.

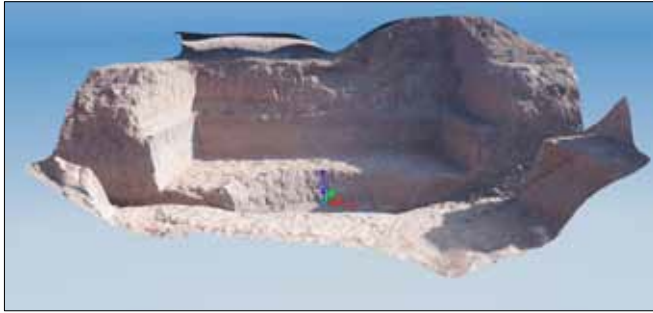
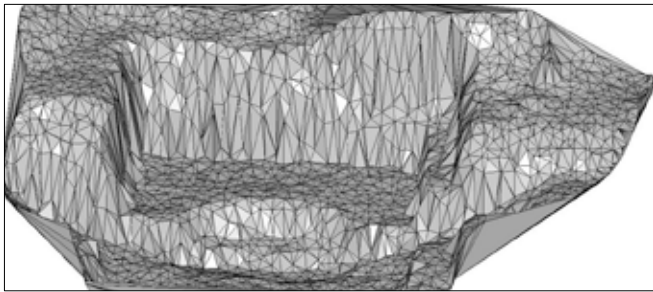


Foto modelizada en 3D

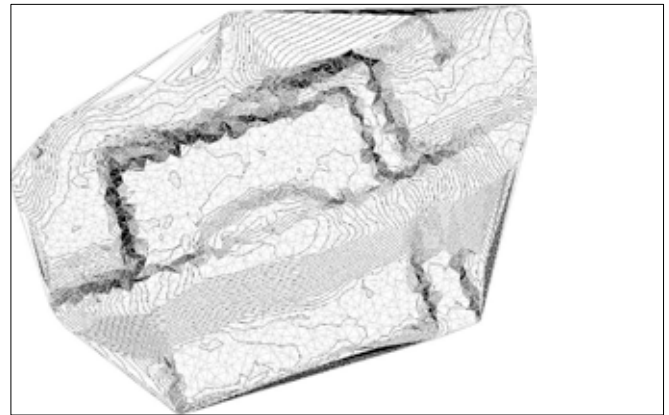


Triangulación del modelo



Arriba: Triangulación del modelo

Derecha: Curvado a partir de 4 fotos.



A partir de las imágenes obtenidas (cámara previamente calibrada con el fin de que las fotos aéreas obtenidas puedan ser procesadas utilizando aplicaciones fotogramétricas como por ejemplo Photomodeler Scanner, EnsoMOSAIC) se obtienen levantamientos en 3D muy rápidos utilizando algunas aplicaciones gratuitas, como por ejemplo Autodesk 123D Catch con la cual obtenemos imágenes 3D de terrenos partiendo de unas cuantas fotos.

A partir de unas cuantas fotos y con pocos medios podemos obtener modelos matemáticos TIN (Triangulated Irregular Network) que una vez postprocesados se consiguen planos con curvas de nivel en tres dimensiones.

A la vista de la facilidad de la toma de datos en todo tipo de obras, podemos deducir la enorme ventaja que supone para el ingeniero contar con esta tecnología y sobre todo a pie de obra. La facilidad para desplegar un aparato que efectúa vuelos de gran estabilidad, que es capaz de aproxi-

marse a zonas de muy difícil acceso, que nos permite ver la obra desde arriba y apreciar los avances en su conjunto gracias a la visión remota, etc. No cabe ninguna duda de que los multirrotores pasarán en breve a ser una herramienta más para el control y seguimiento de todo tipo de obras. Tal vez, lo que más resalte en estos aparatos, es la capacidad para dirigirse de manera enteramente automática a puntos determinados y volver

a la estación de partida tras efectuar tomas de fotos y vídeos al mismo tiempo que enviar imágenes en tiempo real. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Una unidad de medición inercial o IMU ("Inertial Measurement Unit"), es un dispositivo electrónico que mide e informa acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un aparato, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos.



El "ELFO II" dispuesto a la recarga de baterías para volver a su preciso vuelo.