▲ Imagen 1. Uso de dron especializado para la inspección de mina, nótese la iluminación autónoma del dron. Ref. Mina "La Esperanza", Pachuca, Hidalgo.

▲ Imagen 2. Inspección de espacios confinados con el uso de un dron especializado en túneles de drenaje. Referencia: Túnel de drenaje en la Ciudad de México.

NOTA TÉCNICA

Inspección de espacios confinados con el uso de drones especializados y aplicaciones para modelación numérica

M. I. Verónica María GIRALDO ZAPATA
Gerente Ingeniería TIDESA
veronica.giraldo@tidesa.com.mx

M. I. Mario Arturo AGUILAR TÉLLEZ
Vicepresidente de Comités Técnicos AMITOS
comitestecnicos@amitos.org

I. Antecedentes

La inspección de un espacio confinado de complicado acceso, por ejemplo: un sistema de drenaje y alcantarillado, túneles en proceso de construcción u operación, minas, cavernas, silos, lumbreras, etcétera; conlleva un riesgo alto en la seguridad del personal que realiza dicha actividad, además de que los tiempos de ejecución de estos trabajos en condiciones de riesgo alto pueden tener un decremento en su eficiencia.

Actualmente, el uso de tecnología de última generación, como es el vuelo no tripulado de dron y la técnica de fotogrametría, permiten realizar trabajos de inspección o levantamientos topográficos para obtener información más fidedigna del espacio por inspeccionar, resultando, en cada vuelo, en la obtención de fotografía y video de alta calidad que permita a los ingenieros evaluar las condiciones que guarda la estructura inspeccionada. Actualmente, algunos drones están equipados con cámara infrarroja-térmica y son empleados para realizar trabajos de búsqueda de personal en el interior de las minas o túneles. En el caso de espacios contaminados con gases tóxicos, el empleo de este tipo de equipos pueden ser la mejor decisión, ya que los vuelos son autónomos e inalámbricos y no requieren del auxilio de algún personal en el sitio de la inspección.

La inspección empleando la técnica de dron y el procesamiento de fotografías permite obtener la configuración geométrica de la estructura, para posteriormente poder realizar los análisis esfuerzo-deformación, empleando la geometría definida con el vuelo de dron y utilizando programas de elemento finito. Por lo general, la ejecución de una inspección de un espacio confinado con dron puede asegurar el acceso a lugares complicados y de dimensiones reducidas; a sitios contaminados con algún gas nocivo para la salud; o a minas o cavernas con un riesgo alto de inestabilidad.

El uso de drones permite tomar video de alta calidad y transmitirlo en tiempo real a la superficie, quedando registrado en la memoria interna del dron. Este tipo de equipos permiten tomar fotografías de alta calidad de zonas de interés para su estudio u obtener detalles que pueden ser procesados mediante el software especializado para realizar mediciones en 2D y 3D. Es importante señalar que la precisión y sensibilidad de estos equipos de inspección está ligada a las especificaciones del instrumento topográfico que se emplee para colocar los puntos de control topográfico con los cuales se referencie el modelo tridimensional, así como a la calidad del lente de la cámara de video y fotográfica del dron. Un parámetro de referencia en la precisión de este tipo de equipos es igual a 1 cm horizontalmente y a 1 cm verticalmente.

Otro ámbito importante donde el uso de drones especializados comienza a hacer una aportación fundamental es la definición de configuraciones geométricas irregulares, como pueden ser cavernas, minas, etcétera; donde el uso de esta información mediante una plataforma de dibujo –por

◄ Imagen 3. Inspección de microtúnel de drenaje; fotografía tomada con dron especializado. Referencia: Captaciones de drenaje de la Ciudad de México.

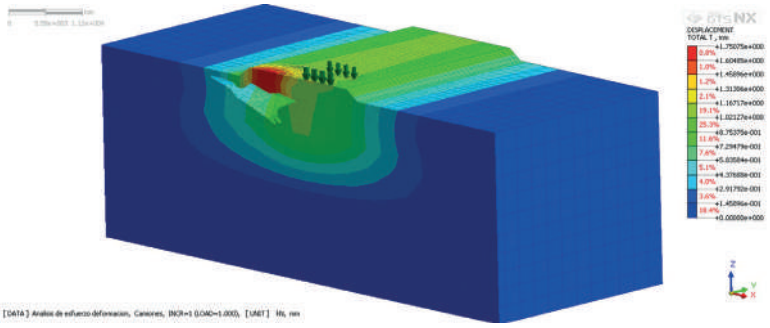
INNOVACIÓN

a) Ingreso de un dron en un espacio confinado (caverna), a través de un espacio de dimensiones restringidas.

b) Fotografía tomada con el dron de un espacio confinado.

▲ Imagen 4. Imágenes del proceso de inspección con el uso de un dron especializado.

▲ Figura 1. Modelo tridimensional de un espacio confinado definido a partir de vuelo con dron y la técnica de fotogrametría.



▲ Figura 2. Ejemplo de análisis de elemento finito de un espacio confinado considerando la configuración geométrica obtenida a partir de la técnica de fotogrametría con las imágenes obtenidas con dron. Modelo 3D.

ejemplo dwg– hace posible migrar dichos datos a una plataforma de software de elemento finito, y así considerar la configuración geométrica real del caso de estudio.

El modelo tridimensional que se presenta en la Figura 1 se obtuvo con la técnica de fotogrametría, empleando los videos y fotografías registrados por el dron. Por ejemplo, para el desarrollo de un modelo 3D se requiere, por lo menos, realizar las siguientes etapas de trabajo:

- Generación de los videos en alta definición obtenidos con los vuelos de inspección.
- Instalación de puntos de control topográfico.
- Elaboración de modelo fotogramétrico.
- Obtención de modelos CAD (plataforma dwg).
- Migración del modelo geométrico o nube de puntos, a una plataforma de elemento finito.

De forma general, un modelo fotogramétrico es la reconstrucción de un elemento tridimensional a partir de imágenes fotográficas de este, para lo cual se requieren numerosas fotografías del elemento en cuestión, tomadas desde diferentes ángulos. Por ejemplo, de acuerdo con lo anterior, para la generación del modelo fotogramétrico que se presenta en la Figura 1, este modelo requirió de numerosas fotografías y videos, y dado que este tipo de estructuras es un elemento con geometría compleja, el número de imágenes requeridas para generar el modelo se incrementa con respecto a elementos de geometría más simple.

Con la técnica de fotogrametría es posible obtener la configuración geométrica o "nube de puntos", para que posteriormente, esta sea procesada en una plataforma de dibujo, CAD, con el objetivo de migrar el modelo geométrico a una plataforma del programa de elemento finito, (ver Figura 2).

Conclusiones

La tecnología de inspección autónoma de espacios confinados es una herramienta útil, eficiente y práctica que permite realizar el análisis de estabilidad de espacios confinados irregulares y de complicado acceso, como pueden ser: sistemas de drenaje, cavernas, túneles en proceso de construcción o en operación, bóvedas, minas, etcétera. La técnica permite obtener fotografías y videos de alta calidad para realizar una inspección del espacio confinado de manera segura y eficiente, reduciendo los tiempos en la ejecución de los trabajos.

La técnica de fotogrametría permite obtener modelos geométricos tridimensionales confiables, seguros y precisos que pueden ser migrados de una plataforma CAD a otra de un programa especializado de elemento finito para realizar el análisis de estabilidad de geometrías irregulares.