

# INSPECCIONES VISUALES AVANZADAS MEDIANTE DRON PARA ESPACIOS AÉREOS RESTRINGIDOS



**ERNESTO VILLALBA JABONERO**  
Project Manager  
TECNATOM, S.A.



**ALBERTO ROMERO GARRIDO**  
Responsable Comercial  
TECNATOM, S.A.



**JESÚS GARCÍA VARGAS**  
Jefe de Inspección en Servicio (Almaraz)  
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

## INTRODUCCIÓN

Los cambios cada vez más acusados y rápidos en nuestra sociedad nos hacen plantearnos un incremento en la velocidad de desarrollo de determinados procesos, como el empleo de nuevas herramientas que nos ayuden en inspecciones con dependencias especiales, incrementando seguridad, calidad y competitividad.

En el caso que nos aplica, además, contamos con que el parque nuclear español se encuentra ante un incremento considerable del volumen de inspecciones en periodos reducidos de tiempo, puesto que está inmerso en el proceso de extensión de vida de sus centrales para operar más allá de su vida de diseño. Por todo ello, y sumándonos al trabajo que se está realizando por parte del sector para aumentar la seguridad y competitividad de las plantas, y que así estas puedan garantizar la operación segura a largo plazo, estamos cada vez más implicados en la introducción de nuevas herramientas que ayuden a incrementar la calidad de las inspecciones al mismo tiempo que se aumenta la seguridad y se disminuye el tiempo de actuación, con el consiguiente incremento de la competitividad. El uso de sistemas de aeronaves pilotadas por control remoto (*Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS)) en inspecciones visuales de grandes superficies exteriores con accesos desfavorables es uno de los mejores ejemplos respecto a lo citado.

Por todo esto, y en línea con el plan de mejora continua de los servicios de Inspección y Pruebas (I&P), Tecnatom, S.A. ha llevado a cabo, estableciendo la correspondiente hoja de ruta, las primeras inspecciones visuales de estructuras y componentes ubicados en recintos exteriores de centrales nucleares utilizando RPAS. Estos ensayos venían realizán-

dose hasta ahora por técnicas visuales “a ojo directo” por personal cualificado desde la base de las estructuras, o incluso desde embarcaciones en el caso de equipos y componentes que están instalados sobre embalses o balsas de agua. En algunos casos se llegaban a utilizar herramientas telescópicas de ayuda, pero en ningún caso se podía llegar a la misma calidad que presenta una inspección visual remota por medio de RPAS, además de bajar considerablemente los tiempos que los inspectores deberían permanecer en zonas de permanencia limitada.

## OBJETIVO

El objetivo inicial de este trabajo era definir y dar cumplimiento a todos los requisitos necesarios para poder sobrevolar diferentes áreas del recinto exterior de centrales nucleares, tanto los definidos por la normativa de la Agencia de Seguridad Aérea como los derivados de los procedimientos específicos de seguridad nuclear, así como establecer la hoja de ruta necesaria para incorporar el servicio de inspección con drones de forma habitual, adquiriendo experiencia en todos los trámites y tiempos de actuación necesarios frente a los diferentes organismos implicados, como por ejemplo el Ministerio del Interior, y los contactos y solicitudes que se deben realizar al fabricante del RPAS para el desbloqueo de determinadas coordenadas restringidas. Además, se debían definir las instrucciones necesarias para una operación segura, las verificaciones a realizar en el equipo empleado, y los riesgos detectados en la operación con sus correspondientes mitigaciones, con el fin de evitar que, durante la ejecución de la inspección de las áreas requeridas, se puedan ocasionar daños en las mismas o generar partes sueltas.



**Figuras 1 y 2.** RPAS preparado para despegue con sistema de flotación incorporado.

Una vez cubierto el objetivo inicial, lo siguiente era buscar uno de los ejemplos más representativos para verificar que la inspección con dron es segura en cualquier circunstancia, y no es otro que la DEMO realizada para una inspección visual requerida por el PGE-37 (Programa de Gestión del Envejecimiento) en los aspersores ubicados en el embalse de agua de Servicios Esenciales (SW), vulgarmente conocido como “los pajaritos”.

## RPAS UTILIZADO EN INSPECCIÓN

En la Figura 1 y 2 se muestra el RPAS empleado para el caso expuesto, donde se puede ver que lleva montado un sistema de flotación sobre su tren de aterrizaje para que, en caso de cualquier eventualidad, pueda aterrizar en el agua sin mayores inconvenientes y pueda esperar flotando a ser rescatado por el equipo de contingencias preparado para tal fin.

Para este caso, el RPAS a utilizar no debía superar un MTOW (Peso máximo al despegue) de 7 kg, y debía reunir las siguientes características:

- Posibilidad de estabilización sin GPS, bloqueo de distancia, transmisión en vivo, seguridad ante pérdida de señal, empleo de sensores de estabilización, posibilidad de predefinir distancia de seguridad para evitar colisiones con elementos frecuentes como soportes o vigas, manejo en primera persona del RPAS y aterrizaje automático.
- Posibilidad de establecer una posición de *Return to Home* (RTH) para asegurar el retorno de la aeronave a una posición segura de forma automática (en caso de pérdida de señal o batería baja).
- Equipos para garantizar que la aeronave opera dentro de las limitaciones previstas, incluyendo el volumen de espacio aéreo en el que debe quedar confinado el vuelo, así como medios para conocer la posición de la aeronave por el piloto remoto.
- El enlace de mando y control que forma parte del RPAS debe garantizar la continuidad y la fiabilidad necesaria en función del riesgo previsto en el área de operaciones (frecuencias seguras y encriptadas que dificultan el control fuera de la emisora preconfigurada para la aeronave).
- Elementos adecuados para garantizar su visibilidad.

## PASOS PREVIOS Y ESTUDIOS NECESARIOS

Con meses de antelación a la fecha prevista de inspección, un amplio equipo de personas de diferentes departamentos se deben poner manos a la obra para tener todo perfectamente autorizado. A continuación, en los siguientes subapartados, se mencionan algunos de los más relevantes.

### Trámites administrativos

- Solicitar autorización al Ministerio del Interior, con un mínimo de 10 días de antelación, para sobrevolar el RPAS en una franja de vuelo en la vertical del área a inspeccionar.
- Dar cumplimiento a los permisos requeridos por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA).
- En el caso de espacios aéreos restringidos o prohibidos, envío de todas las autorizaciones disponibles al fabricante, para que pueda desbloquear la zona por coordenadas GPS. Se debe hacer un estudio previo de coordenadas necesarias de desbloqueo, ya que, en caso de error o desbloqueo de una zona menor de la requerida, podría generar problemas en el proceso de despegue y aterrizaje.
- Habituales de acceso de personal y equipos a instalaciones críticas con suficiente antelación.

### Específicos CCNN

Además de todos los trámites administrativos mencionados en el apartado anterior, en el caso de realizar la inspección en una central nuclear, será necesario realizar alguno o varios de los siguientes en función de la zona y componentes a inspeccionar:

- Solicitud de permisos a Seguridad Física, con un mínimo de 4 semanas de antelación, independientemente de las zonas afectadas (incluso fuera del área de exclusión). Al menos se debe indicar motivo, zona, fecha y hora, así como todos los planes y estudios realizados.
- Envío de petición de autorización al director de la Central en anexo indiciado por cada instalación. La firma de este documento es imprescindible para continuar con el resto de trámites.
- Protocolo de coordinación con la Unidad de Respuesta de la Guardia Civil.

- Informar a sala de control sobre las zonas previstas afectadas y previsión de horas para su aprobación.
- Solicitar los descargos necesarios en función de la zona y equipos a inspeccionar.
- En zona controlada se debe contar con el visto bueno de Protección Radiológica, la cual emitirá el correspondiente permiso, indicando tiempos máximos y delimitación de distancias de aproximación para personal y equipos.
- Antes del despegue informar a los responsables de los departamentos implicados (demandantes del sobrevuelo) para confirmar que se sigue contando con la vigencia de todos los permisos y coordinación con el resto de los departamentos (vigilancia de la salud, emergencias, etc.).
- Comunicar el medio de contacto directo entre la central nuclear y el responsable del vuelo.

### Evaluación y análisis de riesgos

Para establecer una adecuada evaluación de riesgos, es necesario revisar las condiciones de trabajo, los riesgos asociados y las medidas mitigadoras de los mismos, debiendo analizar los siguientes aspectos:

- Descripción del trabajo y del componente.
- Elementos que puedan ocasionar daños en el RPAS.
- Equipos de protección individual que precisará el personal interviniente.
- Equipos de protección colectiva preceptivos.
- Plan de vuelo.
- Riesgos asociados al componente a inspeccionar.
- Medidas mitigadoras a esos riesgos.

A continuación, se citan algunas de las situaciones de riesgo en la operación del RPAS que han sido consideradas en la elección del RPAS aplicado, evitando posibles consecuencias sobre el entorno.

- Pérdida de señal de comunicación.
- Batería baja.
- Colisión del RPAS.
- Intervención de la señal y/o malfunción del sistema RPAS
- Caída al agua en sobrevuelo de superficies líquidas.

En caso de suceder alguna de las situaciones de riesgo anteriores, tras la recuperación será necesario realizar una inspección exhaustiva de la situación, notificando los posibles daños a la instalación o a la aeronave, así como la eventual pérdida de piezas donde se haya desarrollado el incidente.

Se notificará el incidente y no se continuará con la operativa sin garantizar de nuevo la viabilidad de esta, ya que esta situación podría generar partes sueltas, debiéndose seguir el protocolo FME previamente establecido, donde se ha registrado el material empleado en la operación, certificando que disponemos de todas las partes localizadas y dejándolo plasmado en el formato correspondiente.

Adicionalmente, para corroborar que el estado de la aeronave después del incidente es el mismo que antes de comenzar la maniobra, se hará una grabación de esta en ambos momentos, prestando especial atención a las piezas que la conforman. En caso de observarse algún daño o la falta de alguna pieza del equipo, se comunicará al responsable de la inspección para que adopte las medidas oportunas.

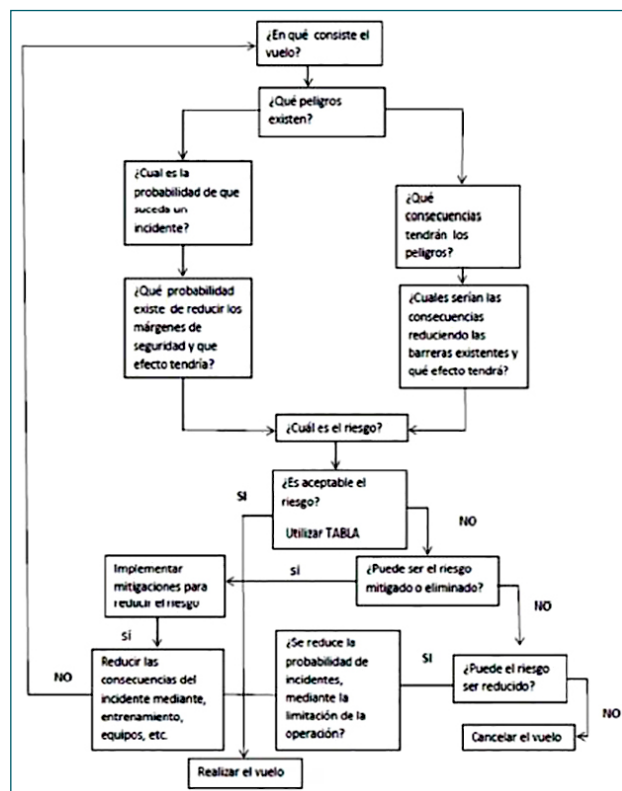


Figura 3. Esquema de análisis de riesgos.

En cuanto al análisis de riesgos llevado a cabo, se puede ver en la Figura 3 un esquema representativo de la forma en que se debe proceder. En este se encuentran diferentes cuestiones para las que, en función de su respuesta, se podrá ir avanzando o no, y llegados al final con una respuesta afirmativa, es el momento en el cual se podría producir el despegue.

### Estudio de seguridad

Respecto al exhaustivo estudio de seguridad realizado que cubre todas las posibilidades, en líneas generales se menciona simplemente el escenario en el que algo pueda fallar en uno de los modos de vuelos previstos (mayor probabilidad), y el escenario extremo que incluye un cálculo de la energía máxima de impacto ejercida sobre el sistema de aspersores en caso de que el dron “se apagara” durante el vuelo y cayera por su propio peso desde grandes alturas no previstas.

#### Incidentes en casos de modos de vuelo previstos

Los equipos empleados disponen de limitación de velocidad para ejecutar la operación y, además, para garantizar que una pérdida de control o una mala operación del piloto no pueda ocasionar un daño a la instalación, al propio equipo o al personal implicado.

Se contemplan 3 modos de vuelo (trípode, posicionamiento y sport), estudiando el de mayor velocidad para obtener la energía máxima de impacto en base a la masa del RPAS, donde se obtiene un valor menor que el soportado por las protecciones de los sistemas de la instalación y de la protección individual requerida por el personal implicado. No obstante, se configura el modo de vuelo más conservador en cuanto a la velocidad de vuelo y la energía cinética generada.

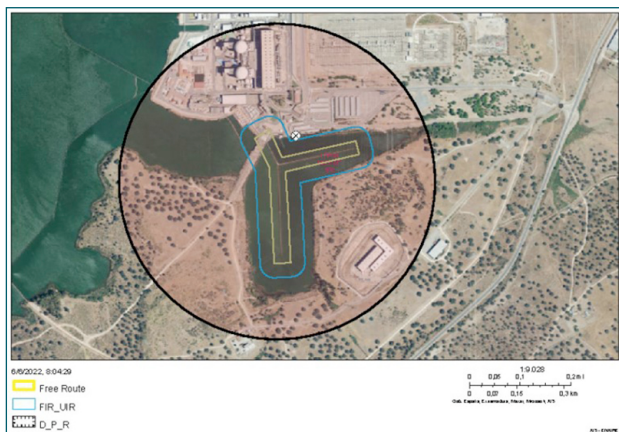
### Escenario de mayor daño posible

Si a pesar de cumplir con todos los sistemas de seguridad, comprobación, y chequeo previos del equipo, se presentase una malfunción no detectada ni prevista (accidental o deliberada), que pueda llevar la aeronave a grandes alturas de vuelo prohibidas y dejarla caer libremente, el estudio ya debe tener en cuenta el cálculo de la velocidad terminal o de caída para aeronaves de ala rotatoria, influyendo el coeficiente de resistencia aerodinámica (aumentado con sistema de flotación), y en cuyo caso tampoco se superaría el umbral de energía de impacto que pudiese dañar ni a personas involucradas ni a los sistemas de la instalación.

### Plan de Vuelo

Para establecer el alcance de la operación, se elabora un plan de vuelo en el que se detalla lo siguiente:

- Zona de operación, incluyendo la zona a inspeccionar y la posición de despegue y aterrizaje.
- *Buffer* de seguridad respecto al suelo, definido como la región en la que no podrá encontrarse personal no interviniente y establece el margen de seguridad desde donde el dron podrá ser devuelto a la zona de operación. En caso de superarse este *buffer* de seguridad, se activará el plan de emergencias diseñado.
- *Buffer* de seguridad con respecto al aire, definido como la región que, en caso de ser invadida por otra aeronave, exige pausar o finalizar la maniobra hasta volver a quedar despejada.



**Figura 4.** Zona aérea afectada captada en la realización del plan de vuelo.



**Figura 5.** Zona de vuelo.

Parte del plan de vuelo podemos verlo en la Figura 4, y es elaborado a través de las herramientas disponibles en la web de INSIGNIA, siendo válido como prueba oficial de la preparación de este.

En la Figura 5 se muestra el detalle de la zona de vuelo necesaria para llevar a cabo la inspección del tramo de línea correspondiente a la DEMO expuesta, así como el *buffer* de seguridad respecto al suelo estimado.

### Procedimiento de emergencia

El procedimiento o plan de respuesta a emergencias previene el efecto escalada de los daños en caso de accidente, dado que es previsible que al menos se produzcan daños en el RPAS cuando se declare la emergencia, encontrándose este en una envolvente de vuelo anormal y no ser posible recuperarlo hasta una envolvente normal. Este procedimiento, al menos incluye lo siguiente:

- Medios de comunicación en caso de emergencia.
- Medios humanos y materiales para hacer frente a las emergencias.
- Organismos a los que se deberá avisar en caso de situaciones de emergencia o accidente.

### Personal necesario

Con suficiente antelación se debe establecer el organigrama necesario para poder llevar a cabo la inspección, y de esta forma poder comunicar los nombres de las personas debidamente cualificadas y entrenadas para tal fin. Este equipo de trabajo debe estar compuesto, al menos, por las siguientes figuras:

- Piloto RPAS.
- Observador.
- Inspector.
- Supervisor.
- Jefe de Campo / Responsable del vuelo.

### RESULTADOS

Después de los numerosos e intensos trámites citados anteriormente para poder sobrevolar con dron en espacio aéreo restringido sobre recintos exteriores de centrales nucleares, el equipo de inspectores de Tecnatom ha completado con éxito inspecciones visuales en zonas complicadas, verificando la idoneidad de los drones empleados en un entorno ambiental real en el exterior: temperatura extrema, condiciones de viento cambiante, duración de las baterías, etc. confirmando la validez de los registros visuales obtenidos según demanda la normativa de Ensayos no destructivos.



**Figura 6.** Dron posicionado en disposición de toma de imágenes.



**Figura 7.** Toma superior aspersores SW aplicando zoom a distancia superior a 8 metros.



**Figura 8.** Toma incrementando zoom a más de 8 metros de distancia.



**Figura 9.** RPAS posicionado para inspección visual de final de línea.

En la Figura 6 se puede ver la posición del dron desde la que, de forma completamente estable, puede hacer zoom para comenzar la inspección visual.

En la Figura 7, el dron está situado en la misma posición que en la Figura 6 (distancia de más de 8 metros en perpendicular a los componentes), pero aplicando zoom para comenzar con la inspección visual.

Ya en la Figura 8 se muestra la boquilla de un aspersor para ver las amplias capacidades de la cámara empleada y la gran estabilidad del dron a pesar del viento en la zona. En este caso el dron sigue posicionado en el mismo punto de la Figura 6.

Y para terminar con este resumen de imágenes, en la Figura 9 se puede ver al RPAS posicionado y estabilizado para

comenzar con la inspección visual del final de una de las líneas.

Tal como se puede observar en las anteriores imágenes, a pesar de darse condiciones próximas a las extremas de trabajo del equipo (ver apartado de "notas relevantes"), y que se había instalado un sistema de flotación sobre el tren de aterrizaje (mayor esfuerzo de estabilización disminuyendo la autonomía de las baterías) al estar todo el vuelo planificado sobre agua, se obtuvieron unos resultados magníficos.

En el caso del ejemplo expuesto, además del reto técnico de utilizar por primera vez en esta inspección un equipo autónomo en condiciones atmosféricas cambiantes, la principal preocupación del cliente era el cumplimiento estricto de todos los requisitos de seguridad de la instalación en cualquier maniobra, planificada o imprevista, durante la operación, y pudieron comprobar de primera mano cómo el resultado de los estudios previos se ajustaron perfectamente a la ejecución del trabajo, despejando todas sus inquietudes respecto a la seguridad al observar la gran robustez y perfecta estabilidad del equipo, así como la gran calidad de las imágenes adquiridas a distancias que superaban los 8 metros respecto a componentes críticos., quedando ampliamente cubiertos los objetivos del servicio y las expectativas del cliente.

Para concluir con el apartado de resultados, a continuación, se van a enumerar las ventajas del empleo de RPAS en inspecciones visuales y algunas notas relevantes del ejemplo expuesto.

### Ventajas

- Incremento de la seguridad y calidad de las inspecciones
- Mayor estabilidad en situaciones extremas.
- Reducción drástica de los tiempos de inspección. Incremento de la competitividad.
- Reducción de los recursos de apoyo proporcionados por la central respecto a los anteriores métodos.

### Notas relevantes

Durante la DEMO de inspección expuesta se puso a prueba el equipo de apoyo a la inspección, llegando a obtener los siguientes valores:

- Temperatura ambiente de hasta 39°C, llegando las baterías hasta 37°C (sol y viento en condiciones cambiantes de hasta 10 m/s).
- Algo menos de 2 horas duró todo el proceso de preparación, despegue, toma de imágenes, aterrizaje y recogida. Disminuir el tiempo de inspección es de gran ayuda, ya que es necesario mantener en descargo el sistema durante la inspección, y ante previsión de altas temperaturas, debe estar inoperativo el menor tiempo posible.
- Zona ocupada por el dron según el plan de vuelo preaprobado, limitada por coordenadas GPS de posicionamiento. Es virtualmente imposible pilotar el dron fuera de la zona autorizada, reforzando mucho la seguridad de que no se van a producir colisiones con otros equipos en la zona.
- Se comprueba que los límites restringidos por coordenadas GPS ejercen de perfecto "muro de cristal" completamente infranqueable.
- Con 3 vuelos, de 20 minutos aproximadamente cada uno, fue posible cubrir el alcance propuesto, utilizando 3 juegos de baterías.

## CONCLUSIONES

Como conclusiones de este trabajo cabe destacar que las inspecciones se han completado en plazo y calidad dando estricto cumplimiento a todos los requisitos de seguridad, tanto estatales como de las instalaciones. El cliente ha quedado altamente satisfecho por la robustez del equipo, la perfecta estabilidad en condiciones extremas, y la gran calidad de las imágenes adquiridas desde distancias superiores a 8 metros de componentes críticos. Con ganas de despegar de nuevo.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer la colaboración de todos los departamentos de Tecnatom, S.A. implicados para cumplir con los numerosos requisitos legales y elegir los momentos más adecuados (Ingeniería, Calidad, Gestión de Vida e Inspección), así como a la central nuclear de Almaraz su predisposición para agilizar todos los condicionantes (orquestado desde Inspección en Servicio, con la inestimable colaboración de Ingeniería, Instrumentación y Control, y sin olvidarnos de Seguridad Física). Todos juntos formamos un equipo que, con el suficiente tiempo de antelación, se volcó plenamente facilitando una comunicación bidireccional activa y muy fluida, consiguiendo un gran hito sin ningún tipo de incidencia.

Mención especial para piloto y observador de campo, que gracias a su gran experiencia y entrenamiento para cualquier tipo de situación límite, hacen muy fácil sobrevolar cualquier tipo de instalación crítica con las mayores garantías y absoluta tranquilidad.

## REFERENCIAS

- [1]. S. López (EPRI), Unmanned Aircraft System (UAS) User's Guide for Nuclear Power Plants, 2021.
- [2]. SF-PP-OP-V-06 rev.1, Requisitos necesarios para realización de sobrevuelos en el espacio aéreo prohibido de la C.N. Almaraz, 2021.
- [3]. AL-22-41 rev.0, Inspecciones visuales remotas con dron de componentes y áreas situadas en el embalse de agua de servicios esenciales de la Central Nuclear de Almaraz, 2022.
- [4]. «Web de ENAIRE insignia», Portal de acceso a información aeronáutica que presenta el contenido de la base de datos AIS de una forma gráfica e interactiva a través de mapas, 2022. <https://insignia.enaire.es/>.
- [5]. «Web de AESA», Portal de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea en el ámbito de los drones, 2022. <https://www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones.>■