

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNANDEZ DE ELCHE  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE  
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
AUTOMÁTICA INDUSTRIAL



“ENSAYO DE UN SISTEMA VERSÁTIL  
DE DRONES PARA EL CONTROL DE LA  
SEGURIDAD EN CENTRALES  
NUCLEARES”

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre 2021

AUTOR: Alejandro Cazorla Sánchez

DIRECTOR: José María Sabater Navarro

# Contenido

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	6
<b>Introducción</b> .....	6
1.1. Motivación .....	6
1.1. Estado de arte .....	9
1.2. Objetivos del Proyecto .....	10
1.3. Contenidos .....	11
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	13
<b>Descripción general de los sistemas de control</b> .....	13
2.1. Preámbulo .....	13
2.2. Análisis matemático del cuadrimotor .....	13
2.2.1. sistema de coordenadas.....	13
2.2.2. Ecuaciones de Euler.....	15
2.3. Descripción del controlador. Análisis predictivo: Método de la Varianza .....	16
2.3.1. Sistema de coordenadas .....	16
2.3.2. Errores en las coordenadas. (transmisión y recepción).....	16
2.3.3. Controladores.....	17
2.4. Conclusiones.....	18
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	20
<b>Descripción general del dispositivo portador</b> .....	20
3.1. El dron. Especificaciones técnicas del mismo. ....	20
3.2. Dispositivos de control a bordo .....	23
3.3. Rangos de vuelo. Valores críticos.....	28
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	31
<b>Descripción general de la geometría de ubicación y estabilización</b> .....	31
4.0. Distintos tipos de posicionamiento de los sensores .....	31
4.1. Conceptos primarios .....	31
4.2. Arquitectura física de los sensores.....	32
4.3. Arquitectura lógica .....	33
4.4. Comparación de la odometría a través de la homografía.....	36
4.5. Cálculo de maniobras correctivas .....	39
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	41
<b>Descripción general de los modelos matemáticos de apoyo</b> .....	41

5.1. Finalidad .....	41
5.2. Influencia del ruido en los sistemas de transmisión. ....	41
5.3. Descripción de la codificación bloque y convolucional.....	41
5.4. Modulaciones digitales.....	42
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>44</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>49</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>49</b>



## Índice de figuras

Figura 2.1. Fuerzas y momentos del cuatrimotor.....	14
Figura 2.2: Variables del cuatrimotor.....	16
Figura 2.3. sistema de control de vuelo.....	17
Figura 3.1. Características principales del dron.....	20
Figura 3.2. Dispositivos de control a bordo.....	23
Figura 3.3. Batería.....	25
Figura 4.1. Esquema de la arquitectura del dron.....	33
Figura 4.2. Arquitectura lógica.....	33
Figura 4.3. Etapas lógicas.....	35
Figura 4.4. Desplazamiento homográfico.....	37
Figura 4.5. Plano 1.....	39
Figura 4.6. Plano 2.....	40



## Índice de tablas

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del dron .....	23
Tabla 3.1. Características batería .....	25
Tabla 3.2. Uso de batería. ....	29



# CAPÍTULO 1

## Introducción

### 1.1. Motivación

*“la energía nuclear es una excelente manera de producir calor y electricidad, con emisiones de impacto ambiental notablemente bajas en relación con la energía producida. Juntas las energías: eólica, hidráulica y nuclear pueden formar la base de un sistema energético descarbonizado. Excluir a la nuclear de la caja de herramientas es absurdo y el desmantelamiento prematuro de centrales nucleares es una política climática terrible”.*

ATTE HARJANNE, del instituto Meteorológico de Finlandia  
y miembro del partido verde.



El ser humano no puede desentenderse de un problema mundial, el cual nos afecta a todos, como es el cambio climático. Según la organización mundial de la salud (OMS), la emisión a la atmósfera todos los años de toneladas de gases de efecto invernadero, mata a más de 7 millones de personas todos los años por la contaminación. La continua presión y sobreexplotación de los recursos naturales de nuestro planeta está llegando a una fase crítica y hemos llegado a un punto de no retorno. Ya no tenemos tiempo de reacción y no nos podemos permitir el lujo de la duda, tenemos que reconocer y ser conscientes de que hemos maltratado al planeta, en un principio por desconocimiento y con el paso de los años por dejadez o por intereses económicos. Reconocido esto, debemos ser realistas y valorar las opciones actuales que tenemos a nuestro alcance para que, de aquí en adelante, usemos los recursos que menos impacto causen en nuestro planeta.

Siendo conscientes de que las energías renovables son beneficiosas, no debemos concebir estas energías sin la energía nuclear. Necesitamos tener una base de producción de energía segura, estable y libre de emisiones contaminantes, que nos permita llegar a los objetivos de descarbonización. A lo largo de la historia, la energía nuclear ha sido continuamente maltratada, penalizada y usada por diversas corrientes políticas, y por políticos que en la mayoría de casos, por desconocimiento o por lo

mediático del asunto, sabían que era un tema complicado, y prefirieron evitar el conflicto esperando que otros en un futuro, dieran el primer paso y solucionaran el problema.

Vivimos en un mundo saturados de ciencia y tecnología, en el que nadie sabe ni de ciencia, ni de tecnología. La mayoría de la gente no sabe (no se da cuenta) del importante rol estabilizador que tiene la energía nuclear y los efectos que tienen en nuestro día a día.

Considero que la energía nuclear arrastra un estigma sobre todo desde el accidente de la central nuclear de Chernóbil. Hoy por hoy, a cualquiera que le pregunten qué saben sobre energía nuclear, te nombrará el accidente nuclear de Chernóbil, el cual se produjo en una coyuntura política en declive. Comparar la seguridad de esa central nuclear con las centrales actuales, es como negarse a viajar en barco por lo que le pasó al Titánic. Además, la central nuclear de Chernóbil infringió los parámetros de seguridad que, desde hacía muchos años, se daban en las centrales nucleares de la época. En definitiva, se menospreció la calidad y revisión de los factores de seguridad desde el punto de vista primario.

Hay que desmitificar el hecho de que el incidente de Chernóbil fue un accidente relacionado directamente con el tipo de tecnología. Hay países como Francia en el cual no se ha producido ningún incidente grave en décadas.

El incidente más reciente en una central nuclear es el de Fukushima Daiichi, pero este es un caso totalmente diferente y fue provocado por una catástrofe natural. En este complejo nuclear estaban previstos todos los posibles accidentes que pudieran afectar a la seguridad. La dimensión de la catástrofe que afectó, no solo a la propia central, sino a toda la costa este de Japón fue extraordinaria. El tsunami que llegó a la central superó la contención prevista para este tipo de catástrofes. Lo único que podemos hacer hoy por hoy con este tipo de imponderables es intentar predecir y regular sus efectos. No podemos poner como paradigma este tipo de fenómenos ni accidentes. Debemos aprender de estos incidentes, redundar, diversificar y diseñar los elementos para responder a fenómenos físicos que no pueden ser resueltos de una forma determinada. Vivimos en un mundo de hipocresía social en el que se critican las cosas por moda, con falta de información veraz y contrastada y sobre todo en la tecnología nuclear.

La energía nuclear no está libre de riesgos, pero siempre son menores que los de su principal competidor: los combustibles fósiles. La probabilidad de que ocurra un accidente nuclear en una central en 100 años es del 0,009% (\*). Un elemento fundamental y muy sensible en la operación de las centrales nucleares es la seguridad, intrínseca e íntimamente relacionado con este tipo de energía. Sometida a continuas revisiones y actualizaciones, la energía nuclear está a la vanguardia de la tecnología y la seguridad. Es aquí donde quiero hacer hincapié y centrarme en un tipo de seguridad directa de los sistemas de control.

En la actualidad, las modernas centrales nucleares de generación III y III+, con reactores evolutivos y avanzados. Incluyen sistemas de seguridad pasivos, cuya acción se debe a fenómenos físicos naturales, tales como la convección natural y la gravedad, que actúan por sí mismos cuando la central se desvía de su modo normal de operación. No necesitan ningún tipo de energía eléctrica externa. El desarrollo de los modernos reactores modulares, permitirán un mayor dinamismo en el desarrollo de la energía nuclear. Además, actualmente se está investigando los reactores de IV generación, los cuales, prometen eliminar con los residuos radiactivos.

Establecer criterios de control eficaces en todos los ámbitos de las centrales es fundamental. Estudiaremos las zonas no accesibles directamente por los especialistas, donde nos centraremos y pensaremos la mejor manera de actuar. Este es el principal razonamiento que nos ocupa.

---

(\*) Mr.A.Birkhofer <<Estudio Alemán sobre los riesgos de las centrales nucleares>> Véase: [https://www.iaea.org/sites/default/files/225\\_604792333\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/225_604792333_es.pdf) <Organismo Internacional de la Energía Atómica>.





## 1.1. Estado de arte

En un escenario de Balance Cero Emisiones para (NZE2050), se pretende conseguir la neutralidad de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> en el horizonte del año 2050. Será necesario un conjunto de acciones externas adicionales en los próximos 10 años, que incluyen programas de innovación a través de un amplio abanico de tecnologías.

Con este escenario de Desarrollo Sostenible (SDS) se conseguiría que el sistema energético cumpliera los objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables, modernos y una mejora sustancial en la calidad del aire.

Es aquí donde la energía nuclear tiene un papel protagonista. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) en su informe anual del 2020, dice que la producción de energía nuclear podría incrementarse en un 90% en los mercados emergentes, y en los países en desarrollo en el año 2030, si se siguen ampliando los programas nucleares de China, Rusia, India y Oriente Medio, mediante la extensión de las autorizaciones de explotación de las centrales, el desarrollo de nuevas construcciones y el impulso a la innovación, incluyendo los reactores modulares pequeños (SMR por sus siglas en Ingles). Con todo ello se añadirían entre 40 y 140 GW de nueva potencia nuclear libre de emisiones en el periodo hasta 2030.

Países como Rusia y china ya han demostrado que pueden construir reactores en un plazo de cinco a siete años. Actualmente China se encamina a ser el país con el mayor parque nuclear, por delante de Estados Unidos, con 49 reactores en operación y 12 en construcción. Sin embargo, la producción nuclear en las economías avanzadas disminuiría en un 10% en 2030 respecto 2019.

La innovación es la fuerza motora para un continuo desarrollo de tecnologías nucleares que conducirán a nuevos reactores con capacidades superiores a las actuales. Estos avances comprenden no sólo plantas de generación eléctrica, sino también instalaciones para la producción de calor a alta temperatura, producción de hidrógeno, calefacción y desalinización de agua de mar.

En la industria nuclear, el conocimiento científico y la tecnología avanzan continuamente, provocando que los requisitos y normas sobre la seguridad evolucionen en base a los nuevos conocimientos y a la experiencia adquirida. La industria nuclear es uno de los sectores industriales más avanzados en tecnología, comparable a la industria aeronáutica y aeroespacial.

Los elementos de seguridad en las plantas tradicionales pueden ser en algunas ocasiones diseños complejos, que en muchos casos basta con que un solo elemento de la cadena falle para que el proceso deje de funcionar. Este es el caso de Fukushima en Japón, los generadores diésel encargados de suministrar agua para refrigerar el núcleo

fallaron. No por causa del terremoto, sino por la posterior inundación provocada por el tsunami. Destacar que, gracias al conjunto de los elementos de seguridad, se actuó a tiempo y se evitó un desastre mucho mayor. Por todo ello, la excelencia en el control de los sistemas de defensa frente a eventuales accidentes naturales o provocados es crítico, tenemos que poner en valor y aprender de este tipo de fenómenos puntuales para implementar barreras y sistemas seguros.

En este proyecto he pensado que la seguridad debe ser un objetivo prioritario a la hora de evaluar el funcionamiento correcto de una central, controles de seguridad directos o visuales. Hay ciertas circunstancias en las que hay que inspeccionar las cosas in situ, se producen accidentes electromecánicos que requieren inspecciones y en muchas ocasiones, no podemos desplazarnos a esas zonas críticas.

El control de la seguridad es una cuestión dinámica, es vital tener un mecanismo de vigilancia de los diferentes dispositivos de seguridad. Un sistema alternativo que ratifique los datos que recogemos de los diferentes sistemas/elementos. Por eso, he pensado que se podrían mejorar los dispositivos de seguridad mediante un sistema de vigilancia paralelo e independiente, cómo un modelo de necesidad que sirva tanto de control rutinario como de respuesta rápida de visualización ante una crisis nuclear.

Por lo tanto, mi proyecto pretende aportar un ensayo que permita una eventual mejora del control de la seguridad de los elementos sensibles de evaluación de parámetros críticos activos y pasivos, para el correcto funcionamiento de una central atómica/nuclear ante eventos imponderables.

## 1.2. Objetivos del Proyecto

El pilar en torno al cual se desarrolla la actividad nuclear es la gestión segura de sus instalaciones. Esto quiere decir que, en todas las fases de diseño, construcción, operación y mantenimiento de la central nuclear, la seguridad debe prevalecer sobre el resto de condicionantes, sin renunciar a los beneficios que la utilización de la energía nuclear reporta a la humanidad.

La seguridad Nuclear, tal y como se entiende y aplica actualmente en las instalaciones nucleares (el concepto de seguridad a ultranza), es incuestionable. Tiene dos objetivos claros: por una parte, minimizar la probabilidad de que se produzca un accidente y por la otra, minimizar las consecuencias de este, si es que llegara a producirse.

Esta doble intención, se plasma en tres modos de actuación que condicionan el diseño, construcción y operación de las modernas centrales nucleares.

- Incorporación de una seguridad inherente en la planificación y el diseño.
- Observación de un control de calidad exigente.

- Incorporación de sistemas de protección y seguridad en las centrales.

Por otro lado, el ambiente hostil en ciertas áreas críticas de una central nuclear imposibilita la acción humana.

El objetivo de este proyecto es la búsqueda de mecanismos alternativos para el control de la seguridad en estas zonas críticas. Se procederá a realizar un estudio de los elementos pasivos existentes dentro de la central nuclear de Cofrentes.

Posteriormente, se estudiará un nuevo canal mediante el uso de un sistema versátil de drones para vigilancia de posibles desviaciones o anomalías.

### 1.3. Contenidos

Podemos dividir los contenidos en los siguientes capítulos.

- Capítulo 2. Descripción general del sistema de control: describimos los sistemas de control del dispositivo empleado para analizar el estado de la seguridad de los distintos puntos sensibles de la central nuclear.
- Capítulo 3. Descripción general del dispositivo portador: nos concentramos en el estudio particular del dron desde el punto de vista mecánico-técnico.
- Capítulo 4. Descripción general de la geometría de ubicación y estabilización: definiremos la geometría correspondiente, obstáculos, elementos estabilizadores, anclajes, punto de carga. Trazaremos unos mapas de manera que cualquier punto de la planta pueda ser controlado. Estableceremos los puntos sensibles de control y trayectorias, de tal manera, que puedan ser controlados todos ellos con fiabilidad absoluta.
- Capítulo 5. Descripción general de los modelos matemáticos de apoyo: efectuamos un desarrollo de los procesos matemáticos para el control y estabilidad de los vehículos aéreos no tripulados que empleamos para conseguir los fines descritos en el presente proyecto. También hacemos referencia a las técnicas de control no lineal de tipo predictivo con objeto de conseguir iterativamente una mejora en los procesos de análisis y objetivación de la seguridad de la central.
- Capítulo 6. Conclusiones: efectuaremos un estudio comparativo, de las distintas alternativas de producción de energía y sus rendimientos, en comparación con la producción de energía nuclear. Partiendo de esta circunstancia, hemos enfocado nuestro estudio en los sistemas de inspección no presencial. A

continuación, describimos los sistemas de dicho control y su interconexión, para cubrir los fines para los que están destinados. Posteriormente, se describen en los capítulos preferentes.



## CAPÍTULO 2

### Descripción general de los sistemas de control

#### 2.1. Preámbulo

Uno de los inconvenientes que se presentan para el estudio académico con relación al control de sistemas de vuelo, es la dificultad en su maniobra. Existen muchos sistemas de vuelo entre los que se tienen helicópteros de cuatro motores conocidos como cuadricópteros, los cuales presentan una ventaja muy importante sobre los helicópteros tradicionales que tienen dos motores, ya que estos permiten mejor control de estabilidad, diseño, mantenimiento y robustez, debido a que presentan ángulos constantes entre sus hélices y los ejes de referencia, por lo tanto, su análisis matemático se facilita.

Entre las aplicaciones que se conocen para estos equipos está el trabajo de manipulación de cámaras para la captura de imágenes que requieren de mucha precisión en algunos lugares poco accesibles para un humano, donde estos vehículos con la solución perfecta debido a su tamaño y maniobrabilidad, dado que son ideales para trabajos que involucran vuelos cortos con una muy buena eficiencia. Un cuadrimotor es un helicóptero de cuatro motores, donde los motores adyacentes giran en sentido contrario (delantero, trasero) y estos tienen posición opuesta entre sí, y los otros dos giran en sentido antihorario (laterales), las fuerzas ejercidas por los motores salen de ellos y los momentos giran en sentido opuesto al giro de la hélice para disminuir los efectos giroscópicos, adicionalmente su centro de masa está localizado en el centro del vehículo.

#### 2.2. Análisis matemático del cuadrimotor

##### 2.2.1. sistema de coordenadas

El modelo matemático del cuadrimotor es realizado basado en las siguientes consideraciones: El Cuadrimotor es un cuerpo sólido en tres dimensiones, sujeto a una fuerza principal y tres momentos como lo muestra la figura 1. Su centro de masa es localizado en el centro del vehículo, los efectos giroscópicos son cancelados debido a la disposición de sus hélices, y los efectos externos por rozamiento con el aire son despreciables. El modelo es obtenido a partir de las ecuaciones de Euler-Lagrange.

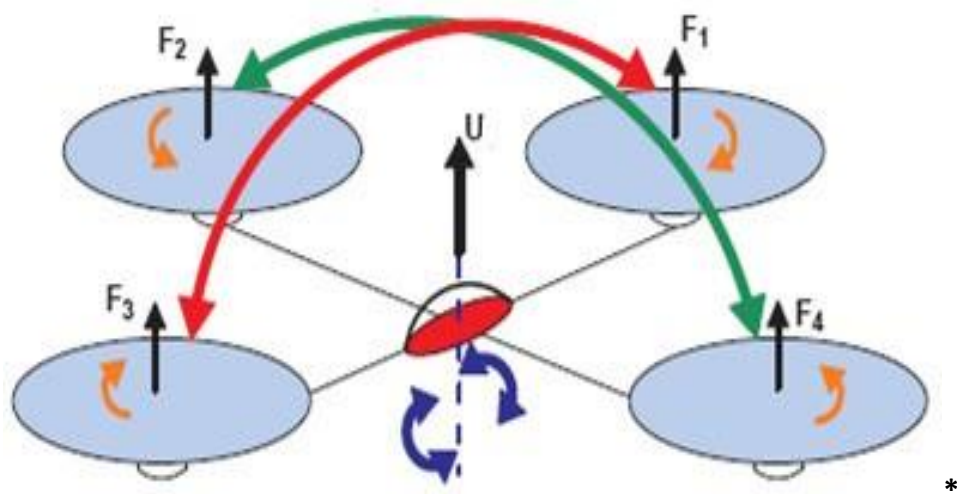


Figura 2.1. Fuerzas y momentos del cuatrimotor.

### 2.2.1.1. Ecuaciones de Euler-Lagrange

Para este sistema, las ecuaciones en coordenadas generalizadas [6], son dadas por la ecuación [1].

$$q = (x, y, z, \psi, \theta, \phi) \in \mathbb{R}^6 \quad [1]$$

Donde el Lagrangeado es definido como muestra la ecuación (2)[6]

$$L(q, \dot{q}) = T_{trans} + T_{rot} - U \quad [2]$$

Con:

- $T_{trans} = \frac{1}{2} m P^T P \rightarrow$  Es la energía cinética translacional.
- $U = mgz \rightarrow$  Es la energía potencial del vehículo.
- $T_{rot} = \frac{1}{2} \omega^T I \omega \rightarrow$  Es la energía cinética rotacional.

$z$  es la altura del vehículo,  $m$  es la masa,  $\omega$  es la velocidad angular,  $I$  es la matriz de inercia y  $g$  es la gravedad; además  $P = (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$ , que es la posición del centro de masas del helicóptero en relación al eje de referencia,  $I = f(\psi, \theta, \phi) \in \mathbb{R}^3$ , es función de los tres ángulos de Euler,  $\psi$  es el ángulo de cabeceo,  $\theta$  es el ángulo balanceo,  $\phi$  es el ángulo de alabeo. Remplazando estos parámetros el modelo es representado por la ecuación (3):

$$L(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} m P^T P + \frac{1}{2} \omega^T I \omega - mgz \quad [3]$$

### 2.2.2. Ecuaciones de Euler.

El modelo general de la ecuación de Euler-Lagrange de energía con fuerzas [], es definida como representa la ecuación (4).

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = \begin{bmatrix} Fu \\ \tau \end{bmatrix} \quad [4]$$

Donde  $Fu = M_R F$ , es la forma de translación aplicada para cada una de las componentes  $(x, y, z)$  y  $M_R$  es la matriz de rotación, la cual define el movimiento de los ejes en relación con los tres ángulos de Euler [4]. Para aplicaciones de ingeniería aeroespacial la conversión que mas se utiliza para la definición de la matriz de rotación es la conocida como ángulos de Tait-Bryan, como muestra el siguiente sistema matricial.

$$M_R = M_{R\psi} M_{R\theta} M_{R\phi}$$

$$M_{R\phi} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad M_{R\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$M_{R\psi} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Aplicando la matriz de rotación la ecuación (4) se obtiene la ecuación (5); la cual representa el sistema en relación con las tres coordenadas cartesianas.

$$m(\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}) + mg(\vec{k}) = M_R F \quad [5]$$

Donde la fuerza es dada por:

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ L_T \end{bmatrix}$$

$$L_T = 4k\omega^2$$

Obteniendo así la solución para cada eje como muestra de la ecuación (6).

$$\begin{bmatrix} m\ddot{x} \\ m\ddot{y} \\ m\ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_T(\cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi) \\ L_T(\sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi) \\ L_T(\cos \theta \cos \phi) - mg \end{bmatrix}$$

Linealizando la ecuación (6) mediante la linealización tangente se tiene la ecuación (7):

$$\begin{bmatrix} m\ddot{x} \\ m\ddot{y} \\ m\ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_T(\theta + \psi\phi) \\ L_T(\psi\theta - \phi) \\ L_T - mg \end{bmatrix}$$

## 2.3. Descripción del controlador. Análisis predictivo: Método de la Varianza

### 2.3.1. Sistema de coordenadas

$(x, y, z) \rightarrow$  posición

- $x, y$  posición plana
- $z$  altura

$(\psi, \theta, \phi) \rightarrow$  estabilidad vuelo

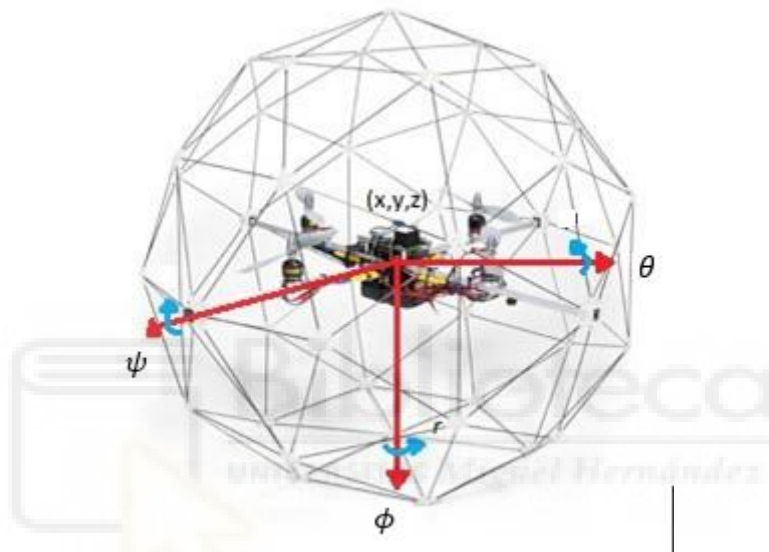


Figura 2.2: Variables del cuatrimotor.

### 2.3.2. Errores en las coordenadas. (transmisión y recepción).

Existe un error de transmisión/recepción por acoplamiento de ruido blanco  $\left[No \frac{w}{Hz}\right]$  en el canal de transmisión aéreo.

- Se produce error de posición  $\rightarrow \Delta e_1 = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$  [m]
- Produce error de rotación  $\rightarrow \Delta e_2 = \sqrt{\Delta \psi^2 + \Delta \theta^2 + \Delta \phi^2}$  [rd]

Ganancias de corrección.

$$\Delta T_{\text{translación}} = K_T \Delta e_1$$

$$\Delta T_{\text{rotación}} = K_R \Delta e_2$$



### 2.3.3. Controladores

- Controlador posicional (rotación)

$$H_p(s) = H_R H_T = \frac{K_R K_T}{(1 + St_R)(1 + St_T)}$$

- Controlador estabilizador en régimen dinámico

$$H_F(s) = H_p(s) K_D (1 + St_D) = G(s)$$

$$G(s) = \frac{K_R K_T K_D (1 + St_D)}{(1 + St_R)(1 + St_T)}$$

- Añadimos el bucle de retroalimentación.

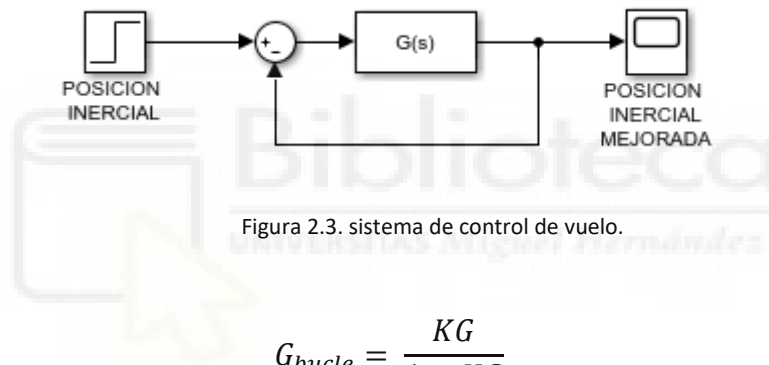


Figura 2.3. sistema de control de vuelo.

$$G_{bucle} = \frac{KG}{1 + KG}$$

- Los ceros del denominador tienen que estar en el semiplano izquierdo. Criterio de Routh.

$$(1 + KG) = 0$$

$$(1 + St_R)(1 + St_T) + K(1 + St_D) = 0$$

$$\text{ROUTH} \rightarrow \begin{bmatrix} t_R t_T > 0 \\ t_R + t_T + t_D > 0 \\ 1 + K > 0 \end{bmatrix}$$

- Mediante el método de la Varianza, estudiamos los distintos comportamientos del sistema. Nos interesa que esté críticamente amortiguado, nos permite pasar de un estado a otro muy rápidamente, para pasar de un sentido a otro, nos interesa que sea lo antes posible.

$$as^2 + ms + n = 0$$

$$\sqrt{m^2 - 4an}$$

$$m^2 - 4an > 0 \rightarrow \text{SOBREAMORTIGUADO.}$$

$$m^2 = 4an \rightarrow \text{CRITICO}$$

$$m^2 - 4an < 0 \rightarrow \text{SUBAMORTIGUADO.}$$

- Polo Doble: Régimen subamortiguado. Condiciones.

$$(t_R + t_T + Kt_D)^2 \leq 4(1 + K)t_R t_T = 0$$

$$20ms < t_T < 1s$$

$$500ms < t_R < 1s$$

$$500ms < t_D < 1s$$

- Esto tienen relación con la exposición de las cámaras, subamortiguamiento es cuando necesito tener una exposición larga y sobreamortiguamiento es control de rutina (miro mientras paso).

## 2.4. Conclusiones

El conocimiento de la varianza es una herramienta poderosa porque muestra para el sistema cuales de las variables de control son influyentes, y con base en ese hecho se puede desarrollar un control robusto que permita que el sistema se mueva en un rango de amortecimiento y pueda volver nuevamente a su estado de equilibrio.

Fueron realizadas diferentes pruebas para la verificación del sistema de control, es importante resaltar que el sistema general, es un sistema en lazo abierto, donde la técnica de control se basa en trayectorias planeadas, obteniendo un buen resultado como mostraron las figuras [] hasta []. Estos resultados pueden ser mejorados cerrado el lazo del sistema de manera tal que se puedan corregir las perturbaciones fuertes como fue presentado en los resultados.

Una de las suposiciones fuertes realizadas en el desarrollo del proyecto fue asumir el Cuadrimotor como sistema ideal, donde no se consideraron algunos factores, debido a que el objetivo principal siempre está enfocado en el controlador del vehículo, de manera tal, que la técnica desarrollada de varianzas pudiera ser aplicada en otras plantas, y no al diseño físico como tal del Cuadrimotor, razón por la cual se sugiere trabajar más en la calibración del equipo de manera tal que la función

de transferencia que describe en el sistema sea más exacta, lo cual mejoraría aún más los resultados obtenidos en este proyecto.

La aplicación de las propiedades Markovianas es de gran importancia y facilitan el análisis y la determinación de la varianza en el sistema estudiado de forma discreta. Con base en este aspecto se sugiere como trabajos futuros, profundizar en el planteamiento de técnicas de control estocástico para estas aplicaciones, construyendo así estrategias y metodologías de control estocástico, ya que hoy en día no hay una teoría totalmente definida para la realización de esta clase de controladores.



## CAPÍTULO 3

### Descripción general del dispositivo portador

#### 3.1. El dron. Especificaciones técnicas del mismo.

El dispositivo empleado para el control de la seguridad en la central nuclear es el dron Elios de Flyability. Hemos seleccionado este dron, por su largo historial de inspección y exploración de los sitios más inaccesibles. Además, por su comprobada resistencia a la radiación durante su operación.

El Elios, es resistente a colisiones y está diseñado para la inspección y exploración de lugares confinados y espacios interiores industriales. Es capaz de volar en espacios reducidos, complejos y lleno de obstáculos, donde la intervención humana es demasiado peligrosa o inviable. Al hacer posible la inspección visual remota en cualquier ambiente cerrado u hostil, eliminando la necesidad de que un operario se exponga a ambientes peligrosos y a situaciones arriesgadas.

Cuenta con su propia estructura protectora, siendo resistente a colisiones, lo que alarga considerablemente su vida útil. Está fabricada con materiales ligeros y robustos, como fibra de carbono, lo que le permite soportar colisiones a velocidades de hasta 4 m/s. Además, el diámetro total no supera los 400mm de diámetro, lo que lo hace un excelente candidato para este cometido. Complementariamente, la estructura protectora cuenta con una gimbal, que le permite permanecer estable en caso de colisión.

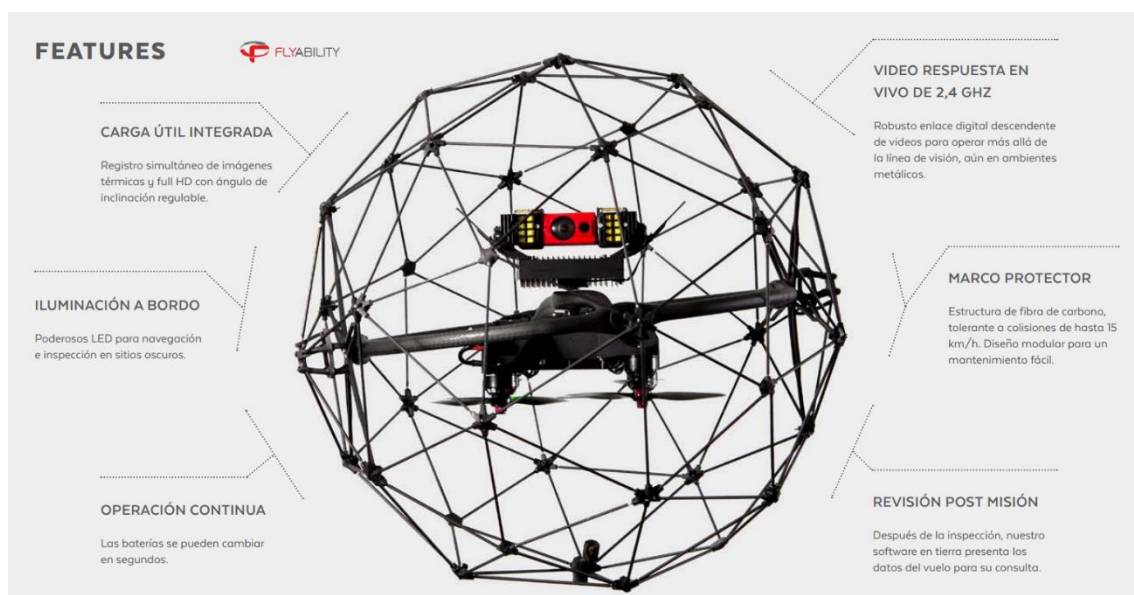


Figura 3.1. Características principales del dron.

El dron, tiene una serie de herramientas instaladas que facilitan su función, tales como, una cámara de FHD, una cámara térmica y un sistema de iluminación propio. Además, de algunos sensores y otros que le añadiremos nosotros mismos.

La duración estimada de la batería es de 10 minutos, tiempo más que suficiente para la tarea que el dron tiene previsto realizar.

Además, cuenta con su propio software.

#### Especificaciones técnicas del Elios

<b>Flight mode</b>	
Types	Throttle: Altitude hold / Manual thrust Control: Attitude mode / Speed mode Speed: Slow / Fast / PRO mode
Availability	Switch between modes at any time
Fail safes	Controlled descent on low-battery (override available) Controlled descent on signal loss
<b>Onboard Electronics</b>	
Avionics-board	Autopilot, thermal video and system management
Power-board	Motor control
<b>ELIOS Aircraft</b>	
Type	Quadcopter configuration
Dimensions	Fits in 400 mm sphere
Motors	4 electric brushless DC motors
Propellers	4 propellers, 5 inches diameter
Take-off weight	700 g including battery, payload & protection
Flight time	Up to 10 minutes
Max. climb rate	1.5 m/s (in altitude hold mode) 5 m/s (in manual thrust mode)
Max. airspeed	6.5 m/s (in normal fast mode) 9 m/s (in pro mode)
Wind resistance	Max. 5 m/s (in pro mode)
Max. Flight Altitude	Sustained flight at 2500m density altitude Battery life allows up to 200m climb and descent
Flight sensors	IMU, magnetometer, barometer
Materials	Cage: carbon fiber +Epoxy, Polyolefin coating, TPU and PA12 Connectors Propellers: Polycarbonate Body: Polycarbonate, Magnesium, Aluminium, Steel Cameras: Glass and Germanium Dioxide optics
Operating temperature	10 °C to 40 °C (50F to 104F) 0°C to 50°C (32F to 122F) with some restrictions
Ingress Protection	Equivalent to IP53
Radiation Resistance	Tested at 800 Rem/Hour (8 Sv/Hour) during 10 minutes
<b>Remote controller (ground control system)</b>	
Type	Ergonomic joysticks and payload controls, integrated video outputs
Frequency	2.4GHz & 5.8GHz
Weight	810g
Operating temperature	0 °C to 40 °C (Tablet display max 35°C)
Output ports	HDMI, SDI, USB
Battery	6000 mAh, 2S
Controls	Payload settings and aircraft control
Options	Optional remote controller (camera operator) with video stream reception on a secondary screen, and dual control of camera settings. Range between the two remote controllers is 50m.
<b>Wireless communication Remote Controller to UAV</b>	
Type	Digital, bidirectional, long range, video and data downlink to remote controller (RC), command and data uplink to UAV

Frequency	2404 2480 MHz
Range	Up to 500 m in direct line of sight
EIRP RC to UAV	100mW
EIRP UAV to RC	CE Mode: 18dBm (60mW) EIRP on AirUnit. Limit is 20dBm FCC Mode: 26.6dBm (456mW) RF power on AirUnit. Limit is 30dB m
Wireless communication Remote Controller to Camera Operator Remote Controller	
EIRP RC to RC	4mW
Frequency	5738–5808 MHz 920.6 MHz to 928 MHz (Japan)
System power	
Type	Lithium polymer battery, 3 cells, 2800 mAh, 33.08 Wh
Charging time	1 h
Battery change time	< 1 mn
Integrated payload	
Payload (camera) head	Damped from vibrations
Upwards tilt	+65 degrees
Downwards tilt	-60 degrees
Main camera	
Video	FHD (1920 x 1080) at 30 fps, good low light performance, recorded on board and streamed to pilot and camera operator
Horizontal field of view	130 degrees
Vertical field of view	75 degrees
Total vertical field of view	215 degrees (considering payload up/down rotation)
Control modes	Auto with EV correction, full manual mode
Thermal camera	
Type	Uncooled FLIR camera core
Video	160x120 pixels at 9 fps, recorded on board
Horizontal field of view	56 degrees
Vertical field of view	42 degrees
Thermal sensitivity	<50mK
Range	10°C to 400°C
Wavelength	LWIR, 8 to 14 um
Lighting system	
Type	5 arrays of high-efficiency LEDs for even lighting in front, top, and bottom
Control	From remote controller, adaptive light beam controlled by camera pitch
Power	11.4 W nominal power for front lighting, 28 W total installed max.
Operational safety & Crashworthiness	
Navigation lights	Green (right) and red (left) lights
Protection cage	Carbon fiber cage with soft coating, modular subcomponents for maintenance ease, thermoplastic elastomer suspensions, size of openings: triangles of about 11 cm sides allowing for hand to access inside to swap batteries
Collision tolerance	Uniform all around the drone, up to 3 m/s on sharp objects, up to 4 m/s on flat objects
Decoupling	3-axes gimbal system, carbon fiber composite ring and transverse beam
Accessories	
Transport case	IATA compliant transport case for checked -in luggage, dimensions: 60 cm x 52 cm x 50 cm
Chargers	3A / 35 W lithium polymer battery balance charger, with charging status indicator, RC charger: 17.4 V, 57 W, tablet USB charger: 5 V
Mobile application used during flight (Elios Cockpit)	
Features	Real time video and UAV telemetry, status visualization (remaining battery, payload settings, warnings, etc. ), control payload settings and various configurations.
Operating system	Android, optimized for tablet provided with UAV system
Post Flight Video, Thermal and Log Analysis (Flyability Inspector)	

Features	Video and Thermal video viewer (frame by frame), flight log analysis including point of interests recorded during flight, screenshots and flight data export.
Operating systems	Windows 7, 8 and 10 (64bit only)

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del dron

### 3.2. Dispositivos de control a bordo

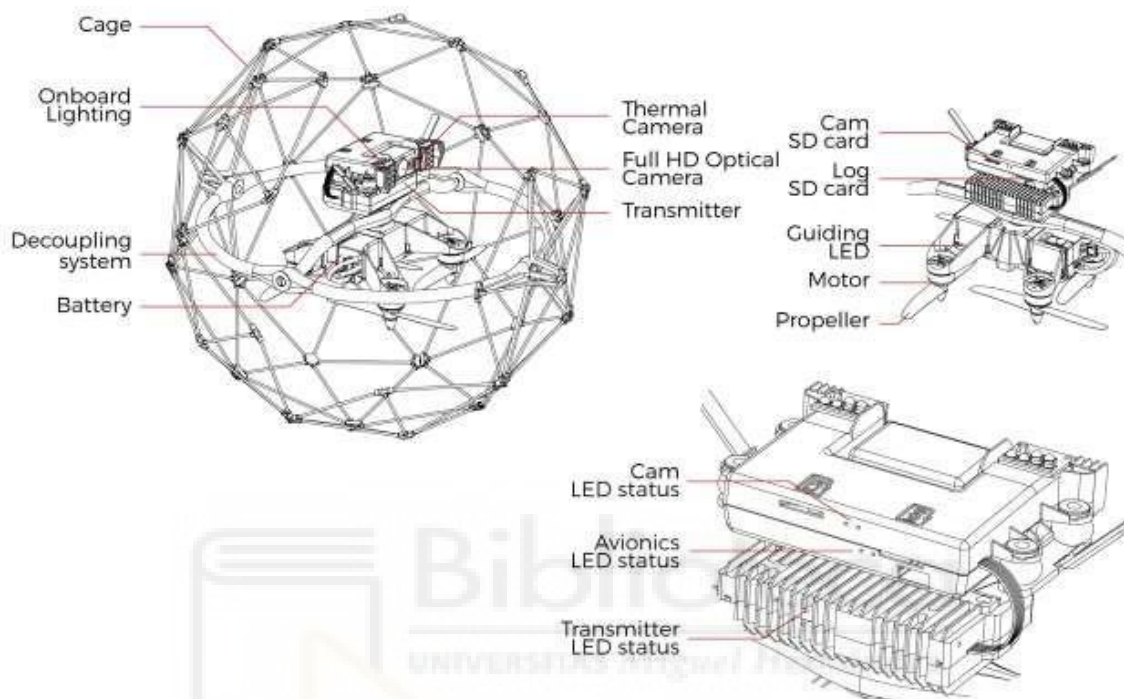


Figura 3.2. Dispositivos de control a bordo

#### Jaula

El Elios está rodeado por una jaula protectora envolvente. La jaula esta diseñada para prevenir colisiones con las hélices, personas y otros obstáculos.

#### Sistema de gimbal

Le permite al dron rotar libremente dentro de la jaula. Está compuesta de un anillo y tiene 3 grados de libertad.

#### Transmisor

El transmisor ofrecer una conexión inalámbrica fiable entre el GCS y el Elios.

#### Cámara óptica

El Elios está equipado con una cámara de alta resolución FHD. La definición estándar es 480p en tiempo real para el operario y más tarde es guardada en la micro tarjeta SD en 1080p. La cámara cuenta con un servomotor que le permite rotar arriba y abajo.

La cámara cuenta con 3 modos de funcionamiento.

- Modo automático: el usuario establece el valor de exposición (EV) mientras que la cámara establece automáticamente el ISO y el tiempo de exposición para mantener constante el EV. El EV corresponde al brillo general de la imagen.
- Modo manual (ISO bajo): el usuario establece el tiempo de exposición mientras que el ISO se establece en 50.
- Modo manual (ISO alto): el usuario establece el tiempo de exposición mientras que el ISO se establece en 1600.

La cámara óptica no está diseñada para recoger imágenes. Pero al grabar a una resolución de 1080, el usuario puede recopilar o seleccionar los fotogramas que crea necesarios. La grabación de video empieza cuando el robot se pone en marcha y se apaga automáticamente cuando el dron se apaga.

### **Cámara térmica**

La cámara térmica FLIR LEPTON se monta coaxialmente junto a la cámara de video y también se puede inclinar hacia arriba y hacia abajo. La grabación de la cámara térmica se guarda automáticamente en la tarjeta LOG SD y se puede revisar con Flyability Inspector. El piloto también puede cambiar a la transmisión de video de la cámara térmica durante el vuelo.

### **Motores y Hélices**

Cuatro hélices crean el empuje necesario para volar. Las hélices en las rms anotadas con una R giran en sentido contrario a las agujas del reloj, mientras que las otras dos giran en el sentido de las agujas del reloj. Las hélices R están montadas en los brazos R. Las hélices no-R están montadas en los brazos no -R. Esto es importante al reemplazar hélices.

### **Micro tarjeta SD**

La tarjeta SD de la cámara graba la transmisión de video óptico Full HD mientras Elios está volando. Hay que utilizar únicamente la tarjeta SD descrita, ya que se ha probado para garantizar que cumple con los requisitos de velocidad de escritura.

### **Tarjeta SD de registro**

La tarjeta SD de registro graba la alimentación de vídeo térmico, así como una gran cantidad de datos de telemetría. La telemetría le será útil para analizar su vuelo utilizando el software Flyability Inspector. Además, ayudará al equipo de Flyability a ejecutar pruebas de diagnóstico en caso de problemas con su sistema. Utilice únicamente la tarjeta SD proporcionada, ya que se ha probado para garantizar que cumple con los requisitos de velocidad de escritura.

### **Batería**

Una batería LiPo extraíble alimenta la aeronave y proporciona hasta 10 minutos de tiempo de vuelo.



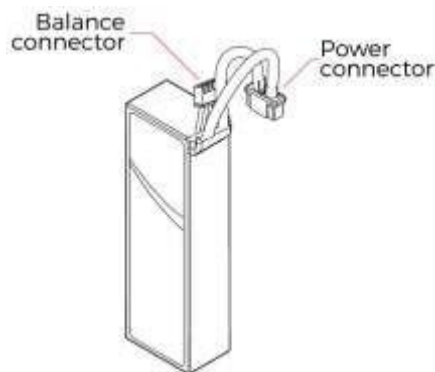


Figura 3.3. Batería

Chemistry	Lithium Polymer
Weight	170g
Capacity	2800mAh
Nominal Voltage	11,1 V
Cell Count	3
Dimensions	33.5x22.5x107mm

Tabla 3.1. Características batería.

### Iluminación a bordo

Una poderosa variedad de LED blancos ofrece una clara iluminación en la parte delantera, superior e inferior de la aeronave. Ayuda a los operadores a navegar y recopilar imágenes de alto valor en entornos oscuros; la intensidad se puede ajustar en vuelo a través de la estación de control de tierra.

### Indicadores LED

Para ayudar al piloto durante las operaciones de Línea de visión (LOS), se instalan dos LED de colores para ayudar a mejorar el conocimiento de la orientación. El LED rojo se encuentra a la izquierda y el LED verde al lado derecho de la aeronave.

Si los LED parpadean alternativamente, significa que Elios está esperando para conectarse a la unidad de control de tierra. Si los LED parpadean rápidamente de forma sincrónica, Elios está realizando una auto-prueba de encendido.

### Estado del LED de la cámara

Da información sobre el estado de la cámara.

- Verde fijo: encendido y listo
- Verde intermitente: grabando
- Rojo intermitente: error o falta la tarjeta SD

### Estado del LED de aviónica

Da información sobre el estado de la aviónica:

- LED izquierdo parpadeando en azul: aviónica funcionando correctamente
- LED derecho azul fijo: la telemetría se está registrando correctamente

#### **Estado del LED del transmisor**

Da información sobre el estado del transmisor.

LED derecho:

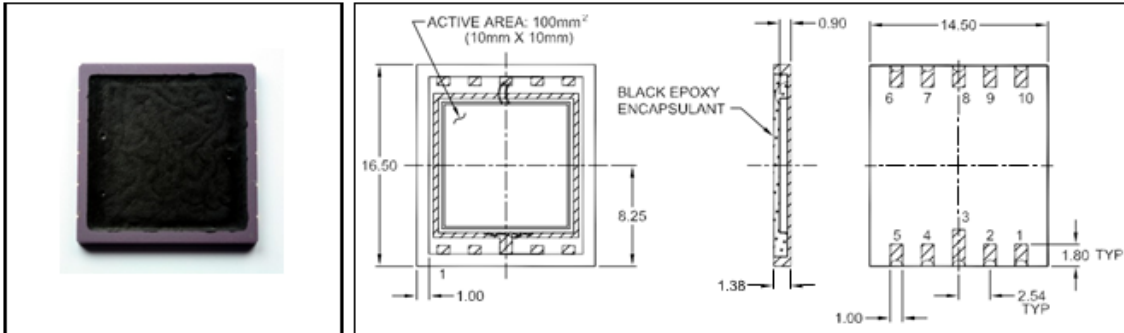
- Parpadea en rojo: botón de enlace presionado. Air System está intentando conectarse con el Ground System
- Parpadea en verde: señal detectada pero no vinculada al sistema de control del suelo
- Verde fijo: conectado correctamente al sistema de control de tierra
- Rojo fijo: no se detecta ninguna señal, asegúrese de que el sistema de control de tierra esté encendido

LED izquierdo:

- Verde fijo: el transmisor recibe bien el vídeo de la cámara
- Rojo fijo: error

Adicionalmente, hemos incorporado una serie de sensores adicionales en el dron. Un sensor de eco para el control de la coordenada Z de nuestro sistema y un sensor de fotones.

La lectura del sensor de fotones es modulada y enviada directamente a la sala de maniobra donde posteriormente será debidamente interpretada por los profesionales.



**Features**

- 100 mm<sup>2</sup> PIN detector
- Light blocking encapsulant
- Low dark current
- Low capacitance
- High shunt resistance
- High sensitivity

**Description**

Square active area PIN photodiode with 100 mm<sup>2</sup> active area. Ceramic carrier type LCC10 package with light blocking black epoxy encapsulant. Reflow solderable. Non-hermetic.

**Application**

- Ionizing radiation detector
- Medical equipment
- Personal dosimeter

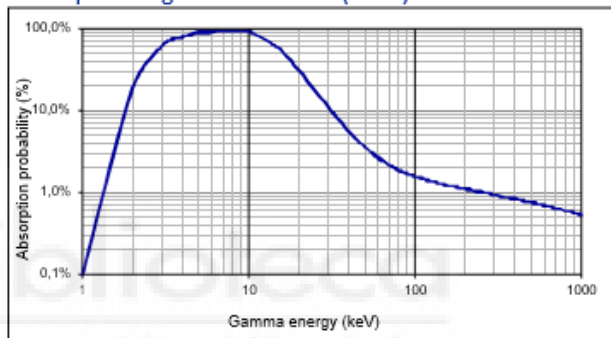
RoHS  
2002/95/EC



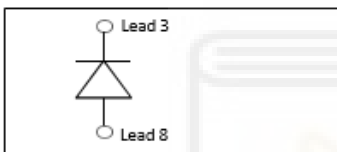
**Absolute maximum ratings**

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
$T_{STG}$	Storage temp	-40	100	°C
$T_{OP}$	Operating temp	-20	70	°C
$V_{max}$	Max reverse voltage		50	V
$I_{PEAK}$	Peak DC current		10	mA

**Absorption of gamma radiation (23 °C)**

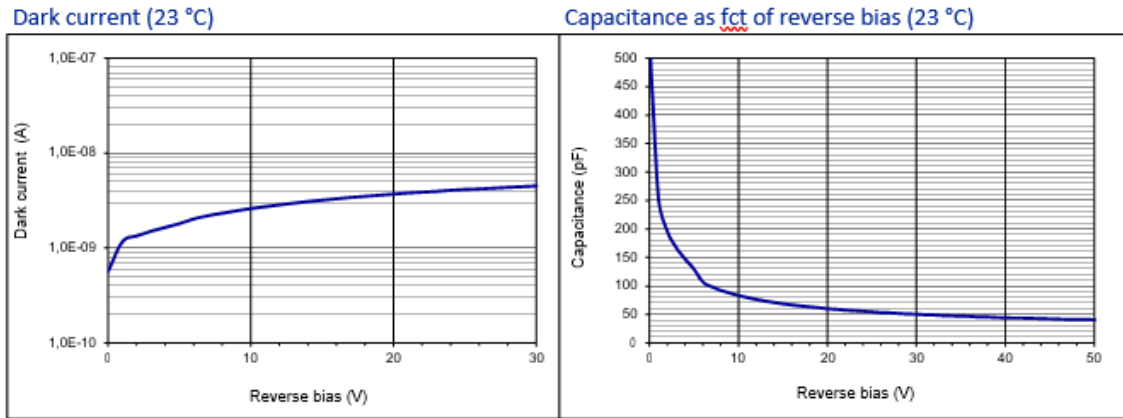


**Schematic**



**Electro-optical characteristics @ 23 °C**

Symbol	Characteristic	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
	Active area			10 x 10		mm
	Active area			100		mm <sup>2</sup>
	Energy range of detectable radiation	Gamma radiation	5		1000	keV
$I_D$	Dark current	$V_R = 12\text{ V}$		1.5	3	nA
$T_K(I_D)$	Temperature coefficient	$V_R = 12\text{ V}$ ; change of dark current		13		%/K
C	Capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ ; $f = 10\text{ kHz}$		500		pF
		$V_R = 12\text{ V}$ ; $f = 10\text{ kHz}$		80		pF
$t_{sr}$	Rise time	$V_R = 12\text{ V}$ ; $E = 10\text{ keV}$ ; $R_L = 50\ \Omega$			500	ns
	Shunt Resistance	$V_R = 10\text{ mV}$		40		MΩ
	Noise current	$V_R = 12\text{ V}$		6.1 E-14		A/√Hz
$V_{BR}$	Breakdown voltage	$I_R = 2\ \mu\text{A}$	50	80		V



**Package dimension:**

Small quantities: Foam pad, boxed (12 cm x 16.5 cm)

**Handling:**

Please refer to document "Instructions for handling and processing"

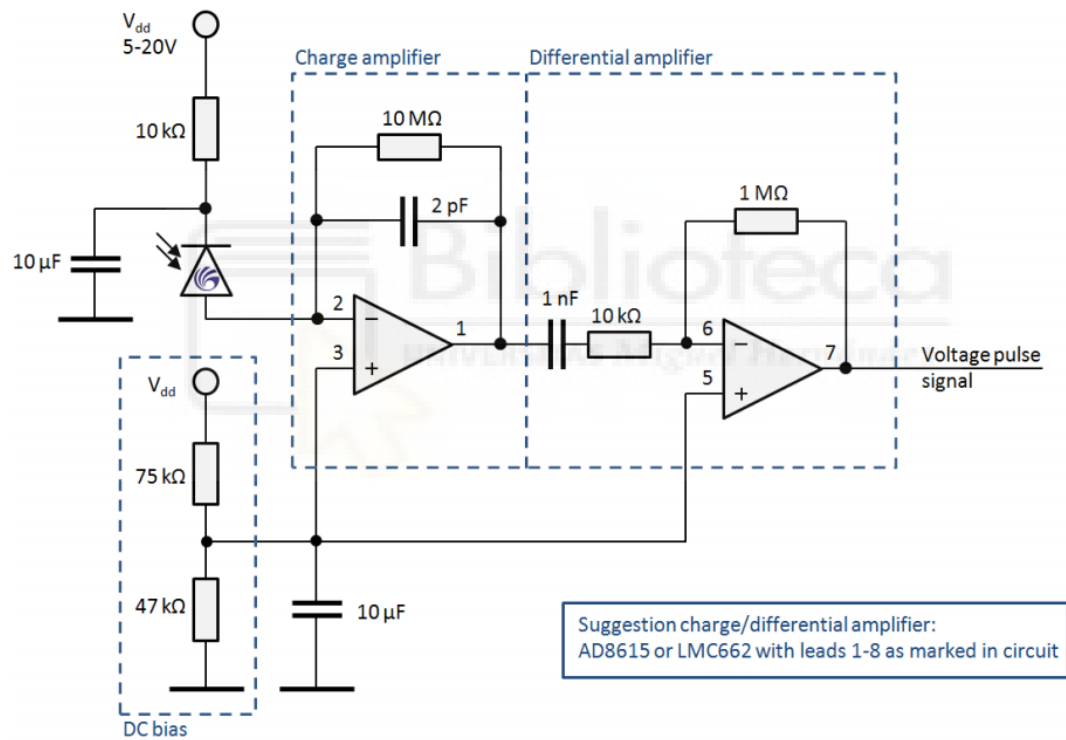


Fig.3. Reference circuit for X100-7 radiation detector by Y. Onodera (<http://einstlab.web.fc2.com/Xdetector/detector.html>).

### 3.3. Rangos de vuelo. Valores críticos

La batería del dron está diseñada para un funcionamiento de 10 minutos y 48 segundos. El tiempo de vuelo está sujeto a variaciones en función de múltiples factores, que se pueden ilustrar observando la forma en que se distribuye el consumo de energía entre los diversos subsistemas de Elios.

DISTRIBUCIÓN DE USO DE LA BATERÍA

Propulsion System	90%
Payload with lights on	6.5%
Drone onboard processing and sensors	3.5%

Tabla 3.2. Uso de batería.

Como vemos en la tabla anterior, la mayor parte de la potencia se utiliza en el sistema de propulsión. Como tal, es el punto más importante al que prestar atención durante los vuelos. De hecho, los picos de consumo de energía ocurren cuando el dron se recupera de una colisión, cuando el dron se fuerza contra un obstáculo o cuando el dron se mueve verticalmente (especialmente verticalmente) u horizontalmente a toda velocidad. Dado que el tiempo de vuelo es directamente proporcional al consumo de energía del dron, comprenderá que minimizar el consumo de energía adoptando una actitud de pilotaje suave y optimizando la ruta de vuelo serán sus mejores aliados para maximizar su tiempo de vuelo.

Luego viene el sistema de iluminación. Cuanto más oscuro sea el lugar, más necesitará el dron para producir luz. No hay mucho que pueda hacer al respecto, pero es bueno tener en cuenta que puede notar alguna diferencia en el tiempo de vuelo dependiendo de la luz natural disponible en el espacio que está inspeccionando.

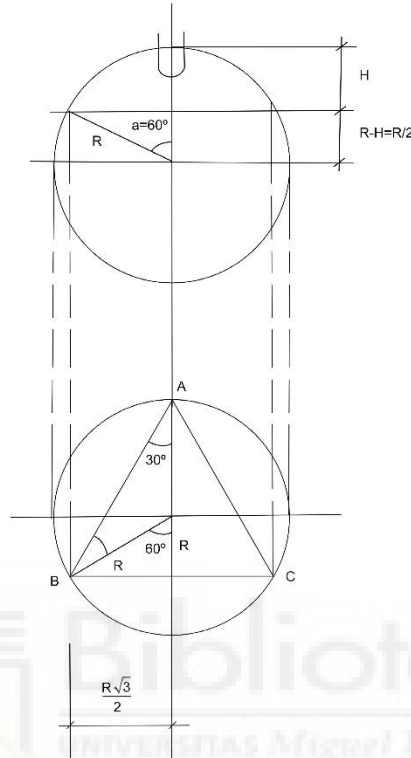
Finalmente, viene el procesamiento a bordo y la gestión general del sistema. Incluye, entre otros, controladores de motor, sistema de transmisión de RF, sistema de estabilización, almacenamiento de datos, etc. De nuevo, no hay mucho que pueda hacer para optimizar el tiempo de vuelo, pero como puede ver, este consumo de energía no es nada. en comparación con el del sistema de propulsión.

Queda patente que hemos incorporado al sistema un anclaje para del dron. Mediante este punto de carga, se podría mantener una carga constante de la batería, permitiendo su uso de los diferentes dispositivos del dron de manera continuada. Este sistema está diseñado para momentos puntuales en el que se requiera especial atención en un punto fuera del control cíclico. Además, el número de drones implicados en las tareas de seguridad es de 3, para otorgarle un mayor dinamismo, fiabilidad y estabilidad al propio sistema.

El anclaje está formado por un anillo de material sintético no metálico (dieléctrico). Por el que se apoyará el dron sobre 3 puntos a 60 grados del centro de la esfera del dron (lo que hace que sea estable), evitando así bamboleos. A su vez en el propio anclaje, se encuentra una clavija axial multifunción que, como ya hemos comentado antes, sirve para alimentar a la batería y para la descarga o recepción de cierta información sensible, que necesite ser revisada in situ de una manera rápida. La

clavija sería un dispositivo hembra, con una retención mecánica que podemos comprimir, para evitar que el dron se precipite al suelo.

A continuación, adjuntamos un pequeño plano de la sección frontal y polar del dron.



La comunicación y transmisión de datos se realiza en frecuencia FM, de manera que sea más segura y difícil de manipular y decodificar.

Usamos una portadora de alta frecuencia que nos permita modular las partes mecánicas del dron en baja frecuencia (aspecto). Los (slakes) de alta frecuencia, llevan los ordenes y las lecturas de los dispositivos de control a la base, donde se recibe y se decodifica mediante un filtro decodificador selector, siendo la información mas sensible la que está en alta frecuencia, ya que es más difícil de decodificar.

Si modulamos en fase estamos variando la frecuencia, el mensaje se mete en la fase  $W_c$ . Para mejorar el sistema, se pueden usar un sistema FM multiplexado, seleccionando diferentes frecuencias de la portadora. Incluso, podríamos cambiar la frecuencia del portador, aumentando aún más la seguridad de la información.

$$y = A \operatorname{sen} (W_c t + \sum K x_i) \quad W_1 < W_2 < W_3$$

donde  $y = y_1, y_2, y_3$  coeficientes frecuencias de  $W_c$

## CAPÍTULO 4

### Descripción general de la geometría de ubicación y estabilización

La necesidad de conocer la localización precisa de un dispositivo, durante la navegación, es imprescindible para cumplir cualquier objetivo, para el que éste, esté diseñado.

#### 4.0. Distintos tipos de posicionamiento de los sensores

En entornos exteriores, donde la forma de captar las señales de los sensores de posicionamiento GPS es muy factible, se proporciona una información muy detallada y viable, con un margen de error reducido. Sin embargo, resulta inapropiado en nuestro ámbito de actuación en un entorno cerrado.

En un primer momento, nos decantamos por un sistema de balizas o puntos de control para controlar la navegación del dron. Aunque, no se descarta como un sistema de apoyo a la trayectoria del dron.

Finalmente, nos decantamos por el sistema homográfico, como caso particular del sistema odométrico.

#### 4.1. Conceptos primarios

##### 4.1.1. ¿Que es la odometría?

La odometría consiste en el uso de datos de sensores de movimiento para estimar cambios de posición a lo largo del tiempo. Esta técnica la utilizan algunos robots, tanto voladores como terrestres, para estimar (no determinar), su posición relativa a un lugar de referencia. Sin embargo, cuando las condiciones no son las ideales, este proceso presenta algunos inconvenientes, pues se torna un método poco fiable e impreciso, cuyo error se va incrementando a lo largo del tiempo, entornos urbanos, edificios cerrados, bosques, etc. Por ello, es necesario que se instaure un método que restablezca el sistema y evitar esas desviaciones.

Este método, está basado en una matemática no muy compleja, por lo que, el uso de recursos es mucho más reducido que en otros sistemas más caros y complejos. Debemos tener en cuenta que, si se requiere un alto grado de precisión, este sistema no

es el más recomendable. Pero, para nuestro dispositivo, al no tratarse de un sistema crítico, es suficiente. Puesto que, si el dron se desvía de la ruta, podemos corregir su posición cuantas veces queramos, reduciendo el desvío.

#### 4.1.2. ¿En qué consiste la odometría visual?

En robótica y visión artificial, la odometría visual es el proceso en el que se calcula la posición y orientación de un robot móvil mediante el análisis de los datos capturados por el propio sistema de cámaras del dron.

Los sistemas de odometría tradicionales, estiman el movimiento a través de los datos adquiridos por un sistema de visión similar al concepto de odometría en dispositivos móviles con ruedas. Donde se hace una estimación entre la imagen anterior del dispositivo, junto con la estimación del movimiento final, para así comparar ambas imágenes. Si bien, es útil para vehículos de ruedas. La odometría no se puede aplicar a otros dispositivos con un sistema de locomoción.

Por ello, la odometría visual, mejora considerablemente la navegación de cualquier tipo de dispositivo de una manera fiable. Independientemente de las características del entorno.

Además, hemos provisto a nuestro dron de unos sensores barométricos para trabajar en un entorno bidimensional. De esta manera, la tercera coordenada la tendríamos resuelta.

#### 4.1.3. ¿Qué es la homografía?

Para mejorar todo el sistema descrito anteriormente se utiliza el concepto de homografía. El cual, compara dos imágenes, uniendo sus puntos en común (píxel) mediante la matriz de transformación "H". La homografía, es el proceso de obtención de dicha matriz a través de los datos proporcionados por cada una de las imágenes.

Considerando un punto  $x = (u, v, 1)$  en una imagen y otro punto  $x' = (u', v', 1)$  en la otra, la matriz de homografía es una matriz de 3x3.

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

La homografía relaciona las coordenadas de cada píxel en las dos imágenes entre sí. Cuando esto se aplica a todos los píxeles de la imagen, la segunda imagen se convierte en una imagen deformada de la primera.

El hecho de que sea una navegación plana es lo que realmente nos interesa, la tercera coordenada se hace con un simple sensor barométrico.

## 4.2. Arquitectura física de los sensores



En el siguiente esquema, podemos ver cada uno de los sistemas que forman parte de la arquitectura del dron.

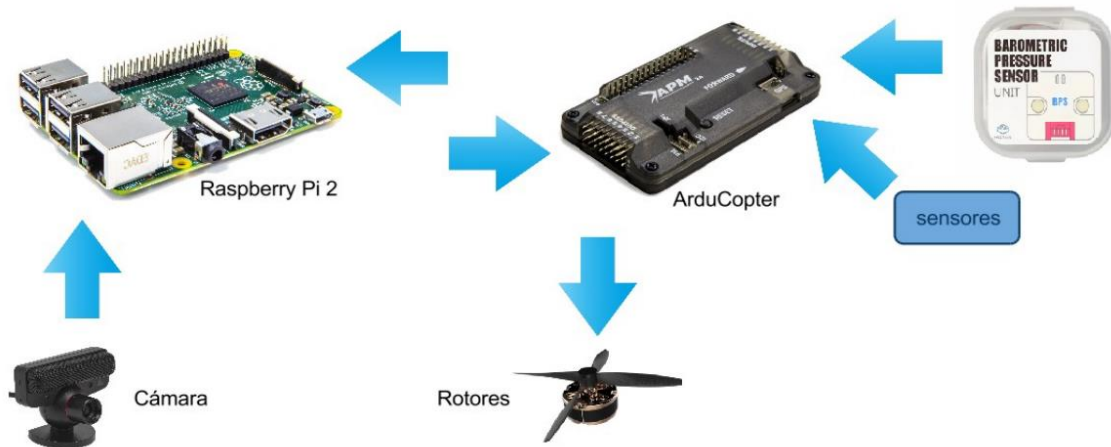


Figura 4.1. Esquema de la arquitectura del dron.

### 4.3. Arquitectura lógica

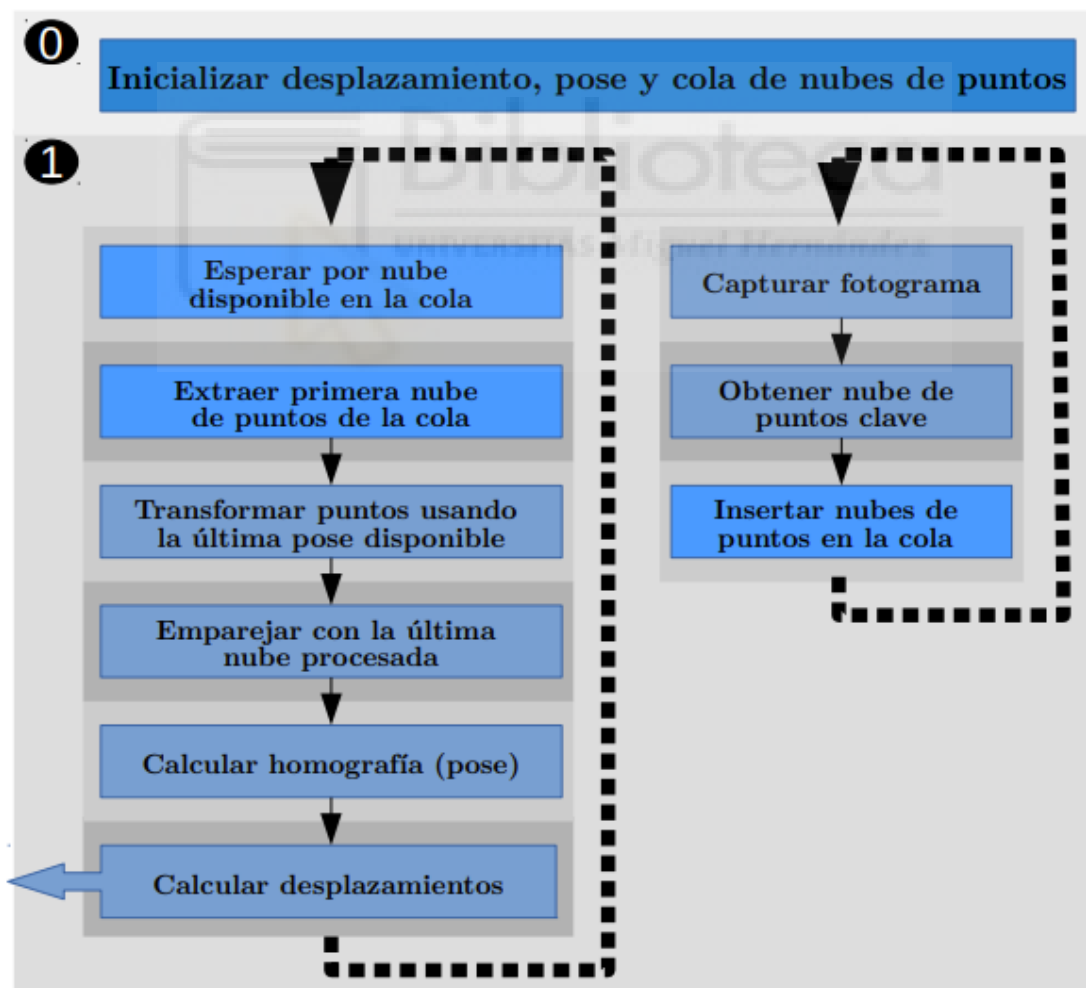


Figura 4.2. Arquitectura lógica.

El desarrollo realizado en este trabajo se centra en la implementación del módulo para ROS que se ejecuta en la Raspberry Pi y obtiene los datos de posicionamiento a partir de las imágenes de la cámara y las medidas de los sensores de altura e inclinación.

En el diagrama superior se pueden ver los diferentes procesos implicados en la obtención de la odometría, así como el orden en el que se ejecutan, cuáles lo hacen de forma simultánea y cuáles no. En general, todo el trabajo se divide en dos etapas numeradas como 0 y 1.

En cada etapa se pueden ver los procesos que se ejecutan simultáneamente, por ejemplo, en la primera etapa solo se ejecuta una tarea encargada de la inicialización de los valores de las diferentes variables necesarias para el proceso, y en la segunda etapa se pueden ver dos procesos que se ejecutan al mismo tiempo, cada uno en un hilo, y que a su vez se dividen en varias etapas. El paso de una etapa a la siguiente exige que todas las tareas implicadas en la misma hayan finalizado.

La etapa 1 es especial, pues ejecuta dos conjuntos de procesos de forma simultánea. Mientras se calcula la homografía a partir de la última pareja de puntos y se obtienen los desplazamientos (odometría, a la izquierda), se está capturando el siguiente fotograma y obteniendo sus puntos clave (bloque de la derecha). Esta etapa es la que genera los datos de salida del proceso, tal y como se puede deducir del cuadro con flecha a la izquierda. Dichos datos pasarán al proceso principal para ser procesados y lograr el objetivo final.

A continuación, se resumen cada uno de los procesos implicados en el diagrama superior, así como la descripción de cada uno:

- Captura de un fotograma: como su propio nombre indica, captura un fotograma de la cámara inferior. Para que este proceso sea lo más rápido posible se implementa usando directamente las capacidades de OpenCV.
- Obtención de nube de puntos clave: a partir de cada fotograma se realiza una búsqueda de puntos potencialmente localizables en el siguiente fotograma. Esta búsqueda se basa en localizar zonas de alto contraste, como bordes y esquinas en los diferentes patrones y texturas de la imagen.
- Emparejamiento de dos nubes de puntos: este proceso empareja los puntos de dos imágenes sucesivas, descartando los que no sean comunes. A partir de este momento, se dispone de dos nubes de puntos relacionadas entre sí.
- Cálculo de homografía: a partir de las dos nubes de puntos emparejadas, se obtiene la matriz de homografía, que especifica la perspectiva de la segunda nube de puntos con respecto a la primera.
- Transformación de puntos en base a pose: este proceso mejora considerablemente la precisión mediante la transformación de la última nube de puntos a la perspectiva usando la última pose. De este modo, el emparejado es

mucho más preciso. El inconveniente es que para poder realizar este proceso se requiere disponer de los resultados de la homografía de los dos fotogramas anteriores, por lo que se limita la simultaneidad.

- Cálculo de desplazamientos: a partir de la matriz de homografía, calcula los desplazamientos y el giro que probablemente haya causado el cambio de perspectiva. Esos son los datos de salida del módulo descrito.

Los datos resultantes son publicados como mensajes estándar de odometría de ROS y capturados por el módulo o proceso principal. El modo en que dichas comunicaciones y flujos de datos se realizan queda definido en el siguiente diagrama.

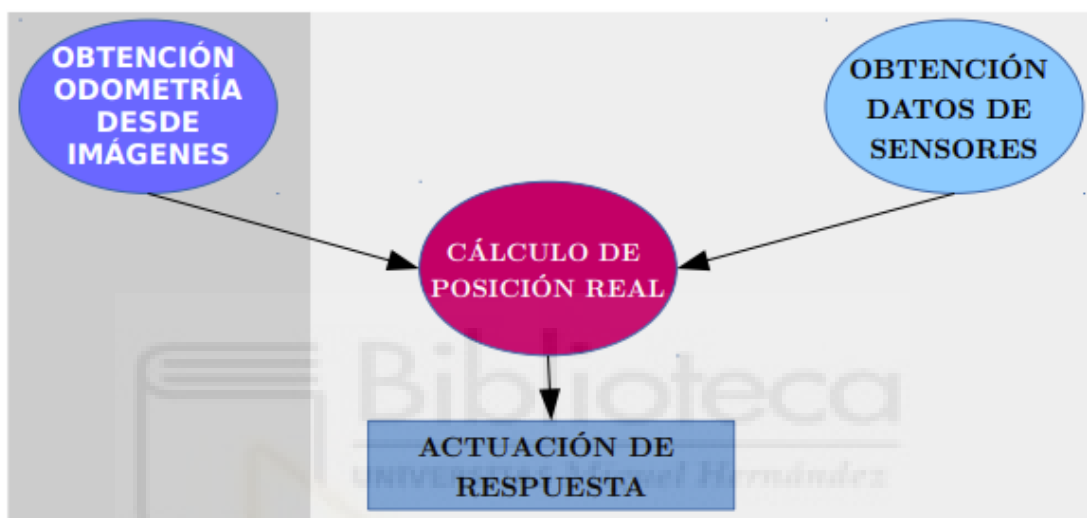


Figura 4.3. Etapas lógicas.

La etapa principal, marcada con fondo gris oscuro, es la explicada anteriormente. Los procesos sobre fondo gris más claro son los realizados por el hilo principal y pertenecen a la última etapa del desarrollo.

En esta última etapa se recibe la información de la odometría del módulo principal y se une a la información de altura e inclinación de los sensores de abordo. Toda esa información se combina para lograr dos objetivos:

1. Corregir errores de medida en el desplazamiento que puedan estar ocasionados por la inclinación actual del dron, situación que ocurre cada vez que éste esté realizando una maniobra de rectificación de posición, usando los sensores de inclinación.
2. Se pueden: convertir los desplazamientos, hasta ahora dados en píxeles, a metros o centímetros, mediante las medidas de altitud.

Por último, una vez normalizados todos los datos se procede a calcular las posibles maniobras de corrección de posición que pudieran ser necesarias y en caso de serlo, a ejecutar dichas maniobras.

#### 4.4. Comparación de la odometría a través de la homografía

##### 4.4.1. Cálculo de la odometría a través de la matriz homográfica

Como ya se ha comentado anteriormente, la matriz de homografía relaciona los puntos de un fotograma con los del siguiente. Por lo tanto, es posible calcular los desplazamientos y las rotaciones que han generado dicha transformación.

Como las transformaciones afectan a un plano 2D, la matriz de homografía se limita del siguiente modo, pues no hay tercera dimensión:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, las transformaciones se pueden describir como:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

La nueva matriz de homografía se puede factorizar de modo que quedan separados los desplazamientos de la rotación, escala y 'shear', lo que da como resultado:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & h_{13} \\ 0 & 1 & h_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & 0 \\ h_{21} & h_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde los elementos  $h_{13}$  y  $h_{23}$  se refieren directamente a los desplazamientos en los ejes  $X$  e  $Y$  respectivamente, y la submatriz  $\begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix}$  puede ser descompuesta en el resto de los factores como sigue:

$$A = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p & 0 \\ 0 & r \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ q & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & -\cos \phi \end{pmatrix}$$

Donde:

- Escala en  $X$ :  $p = \sqrt{h_{11}^2 + h_{12}^2}$
- Escala en  $Y$ :  $r = \frac{\det A}{p} = \frac{h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21}}{\sqrt{h_{11}^2 + h_{12}^2}}$

- 'shear': 
$$q = \frac{h_{11}h_{21}-h_{12}h_{22}}{\det A} = \frac{h_{11}h_{22}-h_{12}h_{21}}{h_{11}h_{21}-h_{12}h_{22}}$$

- Angulo de giro respecto al punto 0,0: 
$$\Phi = \text{atan } 2(h_{12}, h_{11})$$

Por último, solo queda solucionar un inconveniente. Como la cámara se encuentra situada en el centro inferior del dron, cuando este gira sobre sí mismo, la imagen gira sobre su centro, mientras que el giro y el desplazamiento que la homografía entrega esta inferido con respecto a la esquina superior izquierda (punto 0,0).

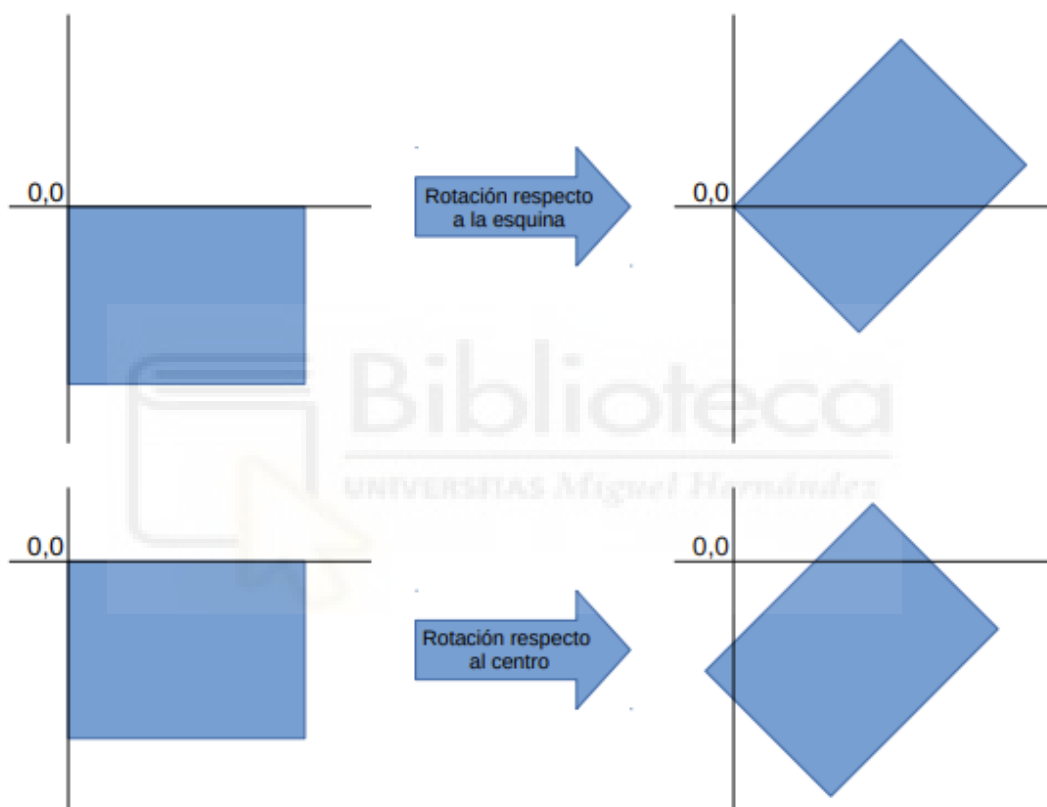


Figura 4.4. Desplazamiento homográfico

Independientemente del punto de referencia, el ángulo de giro siempre es el mismo, por lo que el ángulo obtenido del procedimiento anterior es válido per sé.

Visto desde el punto (0,0), un giro con respecto al centro de la imagen es equivalente al mismo giro con respecto a la esquina superior izquierda más el desplazamiento en los ejes X e Y resultante del cambio de referencia, tal y como se puede ver en la figura superior.

Tras un giro y un desplazamiento con respecto al centro de la imagen. El desplazamiento observado con respecto al punto (0,0) es la suma del provocado por el cambio de referencia y el efectivamente realizado.

Para obtener el desplazamiento con respecto al centro, tan solo es necesario calcular qué parte del mismo es resultado del cambio de referencia y restárselo al obtenido con respecto al punto (0,0), obteniendo así el desplazamiento real. La forma de hacerlo matemáticamente se ilustra a continuación:

- Se define la posición de la esquina superior izquierda con respecto al centro de la imagen como:

$$posición_{0,0} = \begin{pmatrix} -W/2 \\ -H/2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Donde:

- $W$  es el ancho de la imagen en píxeles.
- $H$  es el alto de la imagen en píxeles.
- Se calcula el error en el desplazamiento causado por el cambio de referencia.

$$desp_{err} = \begin{pmatrix} \cos \Phi & \sin \Phi & 160 \\ -\sin \Phi & \cos \Phi & 120 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot posición_{0,0}$$

- Se le resta el desplazamiento obtenido el error provocado por el cambio de referencia.

$$desp = \begin{pmatrix} d_x \\ d_y \\ 1 \end{pmatrix} - desp_{err}$$

Donde el elemento (0,0) de 'desp' representa sobre el eje ejes  $X(dx)$  y el (1,0) el desplazamiento sobre el eje  $Y(dy)$ .

#### 4.4.2. Conversión de unidades

Como los desplazamientos inferidos por el ordenador vienen dados en píxeles, éstos deben ser convertidos a metros, para ello se usará la información de altura con respecto al suelo, que entrega uno de los sensores del dron, en combinación con la distancia focal de la cámara usada. Utilizamos para ello la siguiente expresión:

$$d_x = F \frac{d_x}{Z} \quad d_y = F \frac{d_y}{Z}$$

Donde:

- $d_x$ : Desplazamiento sobre el eje  $X$  en metros.
- $d_y$ : Desplazamiento de eje en  $Y$  en píxeles.

- $F$ : Distancia focal de la cámara en metros.

#### 4.5. Cálculo de maniobras correctivas

Llegados a este punto ya disponemos de todas las herramientas necesarias para poder corregir la navegación del dron.

El sistema de posicionamiento se encarga de comparar el dato de la base real con la teórica está basado en la teoría convolucional desarrollada en el último capítulo. Analizamos la información entrante para compararla, y ver si esa técnica comparativa es la que utilizaremos para evitar posibles obstáculos en la trayectoria.

1100																
1011																
1010																
1001																
1000																
0111																
0110																
0101																
0100																
0011																
0010																
0001																
	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	0000

Figura 4.5. Plano 1.

1100																							
1011																							
1010																							
1001																							
1000																							
0111																							
0110																							
0101																							
0100																							
0011																							
0010																							
0001																							
	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	0000							

Figura 4.6. Plano 2.





## CAPÍTULO 5

### Descripción general de los modelos matemáticos de apoyo

#### 5.1. Finalidad

El tránsito de información desde la central de toma de decisiones y el elemento que debe asumirlas, está sometida a errores debido al medio en el que se producen las transmisiones y en parte por los sistemas usados para emitir y detectar dichas transmisiones. Entre las causas que pueden provocar una discrepancia entre la señal recibida y la emitida destacan el ruido de fondo y las distorsiones accidentales en el medio de propagación; en las transmisiones digitales, eso incide en el error de bit (probabilidad de error de bit). Es objetivo de este capítulo es describir sistemas de codificación que minimicen el error en la señal digital, tanto emitida como recibida.

Las señales son duales tanto del dron al centro de información como del centro de información.

#### 5.2. Influencia del ruido en los sistemas de transmisión.

Los sistemas digitales se utilizan prioritariamente, para enviar paquetes de información (emisión-recepción). El ruido, es de dos tipos: canal y cuantificación. El ruido de canal se da a la salida del sistema y el de cuantificación, a la llegada al receptor. Utilizaremos un código bloque para digitalizar la señal a la salida del emisor, y utilizaremos un código convolucional, para detectar (y eventualmente corregir) la información que llega al transmisor.

#### 5.3. Descripción de la codificación bloque y convolucional.

El código bloque, utiliza paquetes de transmisión de  $n$  bits, de los que solamente  $K$  bits corresponden a la información propiamente dicha. La diferencia entre unos y otros, determinan los bits de paridad. Los bits de paridad se utilizan para determinar los eventuales errores en la palabra mensaje, y en determinadas circunstancias (para valores de  $n - K$  para valores lo suficientemente altos) no solamente detectar, sino corregir el error correspondiente. Técnicamente, se utiliza el criterio de Hamming, para determinar la calidad del código bloque usado, en términos del número de errores

detectables y corregibles. Sea  $t$ , el número de errores corregibles. Un código bloque, se dice que es perfecto si:

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^t \binom{n}{i}$$

- $n$  = bits de la palabra emitida.
- $K$  = bits de la palabra mensaje.

Si tenemos una información que tiene 5 bits ( $k$  bits), en vez de enviar 5 bits te envío 8, entonces  $n = 8$  y  $k = 5$ . Cada palabra viene acompañada con una parte de seguridad. En primer lugar, los sistemas de codificación etiquetan cada información de palabra con un mensaje oculto. Bit de paridad.

En la recepción, utilizaremos para los paquetes de información recibidos, una decodificación convolucional, con objeto, de minimizar el efecto de una posible interceptación indeseada del mensaje emitido. La codificación convolucional, utiliza una secuencia de decodificación activa, a diferencia del código bloque que presenta un sistema pasivo de codificación.

El proceso de decodificación es dinámico y va cambiando en el tiempo, ante un eventual ataque exterior nos permite defendernos, propiciando una seguridad en la emisión (corrección de errores). En la recepción, también tenemos un sistema de defensa para defendernos de eventuales ataques. Incluso ataques al propio sistema de lectura, que podrían eventualmente atacar al dron, con ordenes contrapuestas. El dron en primera instancia las rechazaría, no siendo viables para el sistema. No se leen. La codificación convolucional, también es susceptible de corregir errores en la secuencia de decodificación. Es decir, la codificación convolucional también detecta errores.

#### 5.4. Modulaciones digitales

Con objeto de aumentar la eficiencia en la codificación analógico digital, utilizaremos una modulación digital de las señales analógicas tanto, a la salida como a la entrada. Transformación analógico digital en el emisor y digital analógica en el receptor. Modulación digital en la amplitud, la altura de los puntos, que viene en voltios. Esa señal segura, se transforma por modulación digital, en una señal de tensión; para ello, se trocea en paquetes de bits la señal segura obtenida en la decodificación convolucional descrita, asignando a cada paquete de bits una tensión en voltios; la envolvente de todas las huellas de voltaje obtenidas en el proceso descrito constituye la decodificación del mensaje en términos de una señal analógica de voltaje. El proceso

anterior, se denomina modulación ASK-M (M número de bits de cada paquete). Existen otras dos modulaciones digitales FSK-M (modulación en frecuencia para paquetes de n bits) la amplitud máxima y mínima es siempre la misma, solo varia la anchura del pulso y PSK-M (modulación en fase para paquetes de n bits), lo que hace es invertir la fase.



## CAPÍTULO 6

### Conclusiones

No podemos seguir posponiéndolo, si queremos un futuro energético fiable, debemos cambiar el actual modelo energético anticuado e insostenible. El cambio climático amenaza con dinamitar el ecosistema, e incluso nuestra propia forma de vida. Es totalmente inaceptable que, a día de hoy, los combustibles fósiles abarquen aproximadamente el 85% del mix energético mundial, o que el carbón siga siendo la primera fuente de energía para la generación de electricidad en el mundo, el ser humano racional y comprometido con el planeta, no se puede permitir depender de fuentes de energías finita e ineficiente.

La sociedad más desarrollada no está dispuesta a bajar su ritmo de consumo y necesidades energéticas. Es evidente que hay elementos que a priori son nocivos, pero que necesitamos como sociedad y no es cuestión de demonizar ciertos sectores y ensalzar otros de una manera banal, hay que ser consecuentes y tratar de equilibrar la balanza e intentar mantener un pacto tácito con el planeta, intentando devolver lo que hemos sacado de él.

El ser humano, como individuo, debe de concienciarse y controlar gestos diarios aparentemente superfluos y rutinarios. No se da cuenta de que dejarse la televisión encendida en el salón mientras está cocinando, o mantener el cargador del móvil enchufado todo el día, son actos que a la larga y multiplicados por mil millones tiene consecuencias, como se suele decir, gota a gota se hace el río. Autocontrolarnos independientemente de en qué faceta de nuestra vida nos encontremos, tanto si estamos trabajando en una pequeña, mediana o gran empresa, como si estamos de vacaciones y sea cual sea el puesto que ocupemos en la sociedad. La ley debe proteger al planeta y por consecuencia a nosotros. Y por supuesto, los gobiernos tienen la fuerza y la capacidad de influenciar y educar a la sociedad.

Hay otro aspecto que no debemos olvidar. El consumo invisible que tienen ciertas tecnologías y algunos avances que están apareciendo cómo supuestos sustitutos ecológicos. No somos conscientes de que almacenar la propia información tiene una huella energética. Tal vez si supiéramos cuánto cuesta tener toda la información de Google en cada dispositivo, nos esforzaríamos por intentar compensar en otras facetas de nuestra vida. Se están haciendo campañas que promueven la sustitución de los antiguos coches de combustión, por los nuevos coches eléctricos. Pero, tampoco hemos tenido en cuenta, la cantidad de energía que requeriría sustituir el viejo parque mundial de coches, por uno nuevo de coches libres de emisiones, ya que, si la energía con la que

cargas el coche proviene de una fuente contaminante, no estamos arreglando nada, solo estamos camuflando el problema.

Si analizamos las fuentes de energía disponibles, podemos sacar alguna serie de conclusiones racionales, que no deberían de sorprender a nadie.

Si hablamos de los combustibles fósiles, no podemos perder de vista que, como bien dice su nombre, provienen de organismos biológicos fosilizados de hace millones de años. Es una fuente de energía que empezó a consumirse masivamente con la revolución industrial en el siglo XVIII, y que actualmente seguimos usando, cuyo ritmo de consumo no ha parado de incrementarse y cuyas emisiones se hacen totalmente inasumibles para el planeta. Además, estos tipos de combustibles, sólo se encuentran en enclaves concretos del mundo, supeditados a la especulación, la inestabilidad y la volatilidad de los precios de la exportación e importación a costa de los beneficios de sólo unos pocos. Por no hablar que son la fuente de energía que más muertes produce por unidad de energía, según la OMS.

Si pasamos a las mal llamadas energías “limpias”, no todo es de color de rosa. Debemos de tener en cuenta, que absolutamente todo, desde que se empieza a extraer el mineral de la tierra, hasta que cumple con su cometido final, deja una huella en el planeta. A parte de ser fuertemente dependientes del propio clima y de los factores ambientales particulares de cada país, e incluso a niveles locales.

Evidentemente, son fuentes “inagotables” de energía, su uso es bueno para complementar otras fuentes de energía más estables. Pero no podemos olvidar que son intermitentes. Lo cual no quita que se siga investigando y mejorando este tipo de energía.

Si empezamos por la solar, es básico entender que el sol no siempre está fijo y su incidencia no es la misma desde que amanece hasta que anochece, siendo el pico de producción rentable entre las 4 o 6 horas centrales del día, por lo que presenta un factor de carga muy bajo, entorno al 15-20%. Hay que focalizar cuales son los sectores, en los que, la energía solar es más óptima y por supuesto fomentarla e implantarla. Pero, no tiene sentido implantar a la fuerza un tipo de energía, sabiendo que no es eficaz o en detrimento de otro tipo de energías que serían más adecuadas en ese sector. El principal problema que veo, es su inadecuado planteamiento de uso por parte de las personas. Por poner un ejemplo sencillo, no podemos talar un bosque en medio de una montaña, para implantar una central solar, eso no tiene absolutamente ningún sentido.

Si indagamos en la energía eólica, descubrimos que es una de las primeras fuentes de energía usadas por la humanidad. Presenta los mismos problemas e inconvenientes de la energía solar. Por supuesto, es inagotable, limpia y no contaminante, pero al mismo tiempo es dispersa, intermitente e irregular en cuanto a su intensidad y tiene un factor de carga entorno al 30%. Aunque, no todo es culpa de la intermitencia de las fuentes energéticas, muchas veces se encuentran en reparaciones,

revisiones o incluso puede que la propia red eléctrica no esté en condiciones de mantener esos niveles de potencia. También, como ya he comentado antes, tanto la solar como la eólica tienen un impacto ambiental fuerte en el medio que ellas mismas intentan proteger y preservar tanto en su fabricación, implantación y operación.

Si seguimos por la energía hidráulica, es una fuente de energía que se obtienen a partir del agua de los ríos. Sigue siendo la más empleada entre las fuentes de energía renovable para la producción de energía eléctrica. Se trata del único recurso renovable almacenable, por lo que es muy útil para atender las demandas variables de la red. Por otra parte, presenta dificultades para hacer predicciones fiables junto con la variabilidad de los ciclos meteorológicos de imposible control, son algunos de sus inconvenientes. Otro aspecto poco favorable es, el impacto ambiental que tienen los embalses en su entorno natural, puesto que inundan grandes extensiones de terreno.

continuamos con las energías mareomotriz o geotérmica. Las conclusiones son claras, son energías de implantación local, dado que se originan en entornos específicos para su aprovechamiento y son difíciles de dominar.

Aquí es donde pasamos a la pequeña gran fuente de energía. Aprovechando la fuerza contenida, en los fuertes enlaces entre las partículas dentro de los núcleos de los átomos que forman la materia, para producir enormes cantidades de energía. Hoy por hoy, existen dos tipos de reacciones nucleares, de fisión y de fusión.

En mi opinión, la energía nuclear de fisión arrastra una hostilidad social infundada. Siendo una fuente de energía vital e imprescindible para poder salvar el planeta de nosotros mismos. Aprovechando el desconocimiento por parte de las personas y de ciertos organismos, para relacionar este tipo de energía con procesos o metodologías para nada parecidos a los reales. Grandes personalidades como Elon Musk o Bill Gates, apuestan firmemente por este tipo de energía nuclear y según palabras del propio Elon Musk “la energía nuclear es extremadamente segura”, Bill Gates asegura que “es difícil imaginar un futuro en el que podamos descarbonizar nuestra red eléctrica sin usar más energía nuclear”. Además, la energía nuclear tiene un factor de carga del 90%, parando sólo su operación para la recarga de combustible.

El futuro a largo plazo pasa por la energía nuclear de fusión, proporcionando un suministro eléctrico continuo, sostenible y a gran escala. Aunque a día de hoy, se está haciendo un esfuerzo conjunto entre muchos países del mundo, para que este tipo de energía esté operativa con la mayor brevedad posible. Ya que calentar a temperaturas de millones de grados la materia y confinarla, son dos de los requisitos para alcanzar la fusión nuclear. En resumidas cuentas, es una energía barata, segura y limpia.

Hablar sobre cuáles son los factores relacionados con los costes y la especulación energética podría dar para otro proyecto. Por lo tanto, centrémonos en la parte más visceral de las consecuencias. Estamos acostumbrados y un poco cansados de leer, ver y escuchar cómo en las noticias diariamente, nos hablan de las subidas en las facturas

eléctricas y de que se pasen la pelota entre los distintos gobiernos y las empresas eléctricas, sobre quien es el principal culpable de esta situación, evitando responsabilidades y manteniendo desinformada a la sociedad. Pero no nos cuentan y por supuesto no nos bombardean con información real de cuáles son los verdaderos motivos de estas fluctuaciones, ni cuales serían las posibles soluciones viables a este problema. Hoy por hoy, el parque nuclear español “sin ser de los más potentes del mundo” sería capaz de garantizar la cobertura a largo plazo de todos los contratos con tarifa regulada y sería capaz de hacerlo con un precio estable e inferior al actual.

La potencia nuclear española, tan solo representa el 6.5% de la potencia total instalada en el país, proporciona un suministro firme, continuo y fiable a lo largo de todo el año de más del 20% de la demanda anual de energía eléctrica. Adicionalmente, en la operación del parque nuclear, no se emite a la atmosfera CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (lo que se expulsa por las chimeneas, es sólo vapor de agua, cómo cualquier central térmica), lo que la convierte en esencial en la lucha contra el cambio climático. La realidad, es maltratado e infravalorado parque nuclear español, evita la emisión de varias decenas de millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmosfera cada año, produciendo entre el 30 y 40% de la electricidad limpia consumida en nuestro país. Además, de que la energía nuclear se ha visto asfixiada con impuestos que aumentan diariamente y por lo tanto es evidente que no se le deja aportar su verdadero potencial.

Mi intención al redactar este proyecto no ha sido otra que, hacer de la energía nuclear, si cabe, una energía más accesible y segura.

Siendo la energía un elemento crucial y fundamental en nuestra sociedad desde muchos puntos de vista. Mi firme creencia de que la energía nuclear debería posicionarse como la mayor fuente de energía disponible en todas sus áreas de aplicación. La seguridad tanto interna como externa debe ser regulada concienzudamente para mantener unos estándares de seguridad exigentes. Ahí es donde aporto este estudio. Mejorando calidades a esa seguridad para que los métodos de inspección no sean única y exclusivamente dependientes de los propios profesionales ni estrictamente presenciales, usando así distintas tecnologías.

Mi mayor problema al desarrollar este proyecto ha sido el golpe de realidad al que me he visto enfrentado cuanta más información recopilaba. Para valorar equitativamente y de una manera lo menos parcial posible, me he dado cuenta de la manipulación informativa a la que estamos sometidos intencionadamente. Hay que acudir a fuentes primarias, muy profesionales y puristas de cada sector, para obtener datos viables que te permitan encontrar y comparar información para conseguir de esta manera una visión no sesgada, manipulada o interpretada.

Espero que haya quedado plasmado de una forma objetiva y real, el valor en si de cada energía y romper una lanza a favor de la energía nuclear, desmitificando ciertos

aspectos de todas las energías, tanto buenos y malos, que popularmente tenemos asumidos.

Por supuesto, quiero aportar mi granito de arena y mejorar la seguridad nuclear mediante el uso de una tecnología novedosa basada en drones, para que se puedan mejorar ciertos aspectos de la seguridad nuclear. Creo que la fisión nuclear, es hoy por hoy, la manera más “elegante” de obtener energía de la materia. Y en última instancia llevar a cabo este proyecto en el ambiente para el cual se ha diseñado este sistema versátil de drones para la inspección en centrales nucleares. Tanto en un uso rutinario como en alguna hipotética catástrofe, que nos permita visualizar que es lo que está pasando dentro de la central y obtener datos fehacientes dentro de ella, ayudando a los profesionales a evaluar y tomar decisiones con la mayor cantidad de información disponible.

*“La energía nuclear no es perfecta, pero desde el punto de vista del cambio climático, es una buena respuesta”*

*Marino Molina (premio nobel de química 1995)*





## CAPÍTULO 7

### Bibliografía

1. Mr.A.Birkhofer <<Estudio Alemán sobre los riesgos de las centrales nucleares>>  
Véase: [https://www.iaea.org/sites/default/files/225\\_604792333\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/225_604792333_es.pdf)  
<Organismo Internacional de la Energía Atómica>.
2. Alfredo García <<La energía nuclear salvará el mundo>>
3. Pedro Fresco <<El futuro de la energía en 100 preguntas>>
4. Fuentes personales de asesoramiento:
  - a. Jose María Sabater Navarro “Catedrático de la Universidad Miguel Hernández”
  - b. Javier Sala Penalva “ingeniero superior especializado en eléctrica y director de la Central Nuclear de Cofrentes”
  - c. Gumersindo Jesús Verdú Martín “Dtor. Inst. Inv. Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental.
5. Página de la Central nuclear de Cofrentes << <https://www.cncofrentes.es/>>>
6. Página de Foro Nuclear << <https://www.foronuclear.org/>>>
  - a. “¿Cuáles son los reactores del futuro?”
  - b. “Así crecerá la energía nuclear, según el World energy Outlook 2020”
  - c. <<nota de prensa>> “La energía nuclear como parte de la solución ante los altos precios de la electricidad” Agosto 2021.
  - d. <<Monografía fusión nuclear>> “Fusión nuclear, una energía de futuro”
7. Miguel Parra Muñoz, Eugenio Feitosa Fortaleza, Jones Alves da Silva <<modelamiento matemático y control de un helicóptero de cuatro motores>> Departamento de ingeniería mecánica. Universidad de Brasil 2013.
8. Juan Alfonso Campo Lobato, Marco Cebrián Muiño, Fernando de la Mata de la Iglesia <<modelado y control inteligente del cuatrimotor quanser QBALL-X4>> Departamento de Arquitectura de Computadores y Automática (DACYA). Universidad complutense de Madrid 2012.
9. D. Jesús Fernando Rodríguez-Aragón <<Un sistema de odometría visual monocular bajo restricciones de tiempo real>> Tesis doctoral. Universidad de Salamanca. Departamento de Informática y Automática 2015.
10. Alías Rodríguez Martín <<sistema de posicionamiento para un dron>> Trabajo de Fin de Grado. Sección de Ingeniería Informática. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología 2015.
11. D. Roberto Estévez Echanique <<Dosimetría Radiológica>> Quito 2018.
12. Miguel Alcaraz Baños <<Detección de radiación ionizante>>

13. Jorge Luis Causil López, Luis Antonio Cotua Ortega <<Diseño y ensamble de la arquitectura Física de un Dron, para dosimetría ambiental en los cultivos Bioenergéticos>> Ingeniería de Sistemas. Universidad de Cooperativa de Colombia, 2019.
14. Andreas Kroll, Werner Baetz, Daniel Peretzki <<On Autonomous detection of Pressured Air and Gas Leaks Using Passive IR-Thermography for Mobile Robot Application>> 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Japan 2009.
15. Coline Brothier, Anne Vacque, Didier Boldo <<Civil Engineering Inspections on Nuclear Sites by Drone>> Korea 2017.
16. K. Boudergui, F. Carrel, T. Domenech, N. Guénard, J. P. Poli, A. Ravet, V. Woo <<Development of a drone Equipped with Optimized Sensors for Nuclear and Radiological Risk Characterization>>
17. Robert Bogue <<Robots in the nuclear industry: a review of technologies and applications>> Okehampton, UK.
18. Brendan Paul Joseph Mcnelly <<Desing of a nuclear inspection robot: considering dimensional, force, sensor packaging and thermal constraints>> College Engineering. The Pennsylvania State University, 2015.
19. Página web << <https://www.flyability.com/>>> “datos técnicos”.

