UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CONSOLA PARA CONTROL DE UN DRONE Y REGISTRO DE IMÁGENES PARA MONITOREO DE ACTIVIDADES EN SITIOS DE CONCURRENCIA MASIVA LOCALIZADAS AL AIRE LIBRE.

AUTORES:
DANNY ALEJANDRO PICHUCHO PICHUCHO
RICHARD RODRIGO CHAGNA ONTANEDA

TUTOR:
HAMILTON LEONARDO NÚÑEZ VERDEZOTO

Quito, marzo de 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Danny Alejandro Pichucho Pichucho con documento de identificación N° 1720270360-0 y Richard Rodrigo Chagna Ontaneda con documento de identificación N° 180409932-1, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CONSOLA PARA CONTROL DE UN DRONE Y REGISTRO DE IMÁGENES PARA MONITOREO DE ACTIVIDADES EN SITIOS DE CONCURRENCIA MASIVA LOCALIZADAS AL AIRE LIBRE, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

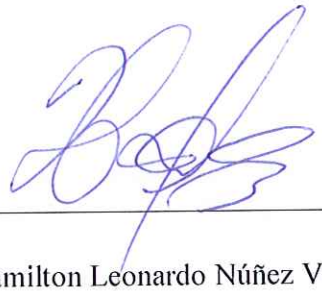
Nombre: Danny A. Pichucho
Cédula: 172027036-0
Fecha: marzo de 2016

Nombre: Richard Chagna
Cédula: 180409932-1

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CONSOLA PARA CONTROL DE UN DRONE Y REGISTRO DE IMÁGENES PARA MONITOREO DE ACTIVIDADES EN SITIOS DE CONCURRENCIA MASIVA LOCALIZADAS AL AIRE LIBRE realizado por Danny Alejandro Pichucho Pichucho y Richard Rodrigo Chagna Ontaneda obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo de 2016



Hamilton Leonardo Núñez Verdezoto
Cédula de identidad: 171298148-7

DEDICATORIA

Este proyecto de grado se lo dedico a mi madre Rocío a quien le debo todo en esta vida; a mi padre Raúl por haber estado siempre junto a mi persona y haberme apoyado en todo este trayecto; a mi hermano Henry por ser la persona quien compartió conmigo logros y angustias en cada etapa de mi vida; a mi hermana Dayanna quien con su sonrisa nunca dejó de ser ese farol que brilla en la oscuridad y que me alentaba a ser mejor y demostrarle que se puede conseguir más en la vida y en especial a mi ñaño Ángel a quien nunca dejé de molestar para que con su intervención divina me ayude a superar cada obstáculo que he encontrado en esta vida. Gracias a la Universidad Politécnica Salesiana y a cada uno de sus docentes por haber abierto sus puertas y acoger en su seno quien una vez fue un joven sin rumbo y haberle guiado y formado como una persona con buenos valores morales y como un excelente profesional. Gracias a todos y cada uno de ustedes por su apoyo, su paciencia, su cariño, su entrega y por mucho más. Dios les pague a todos ustedes.

DANNY.

Agradezco a Dios y a mis Padres por su apoyo incondicional que día a día con su gran esfuerzo y dedicación, ayudaron para hacer realidad mi sueño, ser ingeniero a pesar de muchos tropiezos que la vida nos da. Además agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a sus Docentes por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno técnico y científico. También sin duda un grandioso agradecimiento a los grandes amigos que semestre a semestre fueron un gran apoyo en el aprendizaje de cada materia. A todos, mil gracias por una meta más cumplida en la vida.

RICHARD.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO 1. 2
ANTECEDENTES 2
1.1 Título del proyecto 2
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivo general 2
1.2.2 Objetivos específicos 2
1.3 Justificación e importancia 2
1.4 Alcance del proyecto 3
1.5 Beneficiarios 3
CAPÍTULO 2. 4
ESTADO DEL ARTE 4
2.1 El drone 4
2.2 Historia general de los drones 4
2.3 Clasificación de los drones 5
2.3.1 Por su medio de desplazamiento 5
2.3.2 Por su campo de aplicación 6
2.4 Aplicaciones 7
2.5 Ventajas y desventajas 9
2.6 Metodología QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT) – desarrollo de la función de calidad 11
2.6.1 Las cuatro fases 11
2.6.2 La casa de la calidad 12
2.7 Especificaciones técnicas 13
2.8 Implementación del prototipo 13
CAPÍTULO 3. 14
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO 14
3.1 Voz del usuario - requerimientos del usuario 14
3.1.1 La encuesta 14
3.1.2 Resultados de la encuesta 15
3.1.3 Organización de las demandas 16
3.2 Voz del ingeniero – requerimientos del equipo de desarrolladores 18
3.3 Análisis de la competencia 18

3.4 Desarrollo de la casa de calidad 20
3.5 Análisis de la casa de la calidad 22
3.5.1 Especificaciones técnicas del proyecto 22
3.5.2 Incidencia y correlaciones 23
3.6 Análisis funcional 24
3.7 Generación de alternativas de solución 25
3.7.1 Módulo 1 25
3.7.2 Módulo 2 30
3.8 Generación de la primera alternativa de solución 34
3.8.1 Análisis del módulo 1 35
3.8.2 Análisis del módulo 2 38
3.9 Implementación de hardware 41
3.9.1 Caja base 41
3.9.2 Base de pantalla (soporte parte 1) 42
3.9.3 Soporte de base (soporte parte 2) 43
3.9.4 Antena 44
3.9.5 Fuente de alimentación 45
3.9.6 Joystick 45
3.9.7 Batería 46
3.9.8 Tarjeta de control 47
3.9.9 Tarjeta de comunicación 48
3.10 Despiece de la consola 49
CAPÍTULO 4. 52
PRUEBAS Y RESULTADOS 52
4.1 Procedimiento de puesta en marcha de la consola 52
4.2 Esquema de operación de la consola 53
4.3 Prueba 1 – registro fotográfico 54
4.4 Prueba 2 – registro de vídeo 57
4.5 Procedimiento para recuperación de la información 59
4.5.1 Inserción/extracción de tarjeta memoria externa 60
4.5.2 Almacenamiento en la consola 60
4.6 Análisis de los resultados 61
4.7 Costos 64
CONCLUSIONES 66

RECOMENDACIONES 67
REFERENCIAS 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo desde la concepción de equipos teleoperados hasta los drones actuales 5
Figura 2. Pasos para el desarrollo de la función de calidad 12
Figura 3. Mensaje de aviso de la herramienta de formularios online de Google 15
Figura 4. Representación gráfica del porcentaje de las demandas obtenidas de la encuesta 17
Figura 6. Representación modular en bloques que ilustran el funcionamiento de la consola 24
Figura 7. Espacio contenedor de los elementos de la consola 25
Figura 8. Case contendedor de elementos electrónicos 26
Figura 9. Modelo de joystick y de botón 27
Figura 10. Teclado y pad mouse de portátil para el ingreso de las instrucciones de manejo del drone en la consola 27
Figura 11. Antena para emisión/recepción de información 28
Figura 12. Modem WiFi con puerto USB para PC de escritorio o portátil 29
Figura 13. Propuestas de solución para la elaboración del prototipo para el módulo 1 30
Figura 14. Tablet Samsung de 7 pulgadas propuesta para la construcción del prototipo para el módulo 2 31
Figura 15. Pantalla de computador propuesto como solución para el módulo 2 31
Figura 16. Comparativa gráfica de las alternativas de solución para el módulo 2 33
Figura 17. Modelo virtual en 3D de la solución S1 para la consola de operación del drone 37
Figura 18. Modelo virtual en 3D de la solución S2 para la consola de operación del drone 40
Figura 19. Dimensiones generales de a la caja plástica contenedora de los elementos 41
Figura 20. Medidas generales del soporte sujetador de pantalla de la consola 42
Figura 21. Medidas generales de la base del soporte de pantalla de la consola 43
Figura 22. Medidas generales de una antena de emisión/recepción. 44
Figura 23. Fuente de alimentación para la consola de operación del drone. 45
Figura 24. Joystick analógico de 2 ejes con potenciómetros de 10kΩ. 45

Figura 25. Batería recargable de alimentación para los elementos electrónicos de la consola (excepto de la pantalla) 46
Figura 26. Tarjeta de control con emisor/receptor integrado. 47
Figura 27. Esquema general de bloques funcionales de la tarjeta de control de la consola del drone..... 48
Figura 28. Tarjeta de comunicación para comunicar el mando del drone con la pantalla de visualización. 48
Figura 29. Esquema general de bloques funcionales de la tarjeta de comunicación de la consola..... 49
Figura 30. Despiece de la consola de manejo del drone en sus elementos principales (sin pantalla)..... 50
Figura 31. Diagrama de flujo donde se describe la operación de la consola del drone. 53
Figura 32. Fotografía aérea capturada en la prueba de vuelo sobre el parque El Arbolito. 55
Figura 33. Fotogramas referenciales del registro de vídeo del sobrevuelo en el Estadio Casa Blanca. 58
Figura 34. Mensaje de problema en pantalla de la consola durante una prueba. 59
Figura 35. Comparativa lado a lado de los resultados obtenidos del registro y almacenamiento fotográfico 62
Figura 36. Hélice desgastada por el uso 62
Figura 37. Drone después de la caída tras el desprendimiento de una de sus hélices después de una prueba..... 63
Figura 38. Gráfico de representación de costos referenciales para la consola de drone prototipo ensamblada 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conteo de votos por agrupación de demandas……..17
Tabla 2. Características del DJI 5.8 GHz Remote Control…….19
Tabla 3. Características del SPEKTRUM DX4……....19
Tabla 4. Tabla de correspondencias entre la “voz del usuario”, “voz del ingeniero”, tipo de demanda y sus valores referenciales con unidades…….20
Tabla 5. Especificaciones técnicas para la consola…….22
Tabla 6. Correlación entre las características técnicas……23
Tabla 7. Alternativas de solución para el módulo 1……25
Tabla 8. Ventajas y desventajas de la caja plástica…….26
Tabla 9. Ventajas y desventajas de Case (chasis)……...26
Tabla 10. Ventajas y desventajas del uso de Joysticks y botones……...27
Tabla 11. Ventajas y desventajas del uso de periféricos de entrada……...28
Tabla 12. Ventajas y desventajas del uso de antena + transceptor WiFi DJI…….28
Tabla 13. Ventajas y desventajas del uso de Modem WiFi PCI-E/USB + antena….29
Tabla 14. Soluciones para el módulo 1……...29
Tabla 15. Soluciones para el módulo 2……...30
Tabla 16. Ventajas y desventajas del uso de un dispositivo móvil…….31
Tabla 17. Ventajas y desventajas del uso de una pantalla de PC……....32
Tabla 18. Soluciones para el módulo 2……...32
Tabla 19. Alternativa de solución S1……..33
Tabla 20. Alternativa de solución S2……..34
Tabla 21. Evaluación del peso específico asignado a cada criterio……35
Tabla 22. Evaluación del criterio ‘Precio’ para el módulo 1……..35
Tabla 23. Evaluación del criterio ‘Tamaño de pantalla’ para el módulo 1…….35
Tabla 24. Evaluación del criterio ‘Capacidad de la batería’ para el módulo 1……...36
Tabla 25. Conclusiones para el módulo 1……...36
Tabla 26. Evaluación del criterio ‘Precio’ para el módulo 2……..38
Tabla 27. Evaluación del criterio ‘Tamaño de pantalla’ para el módulo 2…….39
Tabla 28. Evaluación del criterio ‘Capacidad de la batería’ para el módulo 2……...39
Tabla 29. Conclusiones para el módulo 2……...39
Tabla 30. Elementos principales que componen la consola indicada en el despiece.51
Tabla 31. Datos del archivo fotográfico registrado en la prueba……55

Tabla 32. Datos del archivo de vídeo registrado en la prueba……58
Tabla 33. Tabla de costos referenciales de la consola……64
Tabla 34. Tabla de precios referenciales para una consola de drone……..64

RESUMEN

El presente proyecto tiene como principal propósito el diseño e implementación de una consola que permite controlar un drone a un kilómetro de distancia en diferentes locaciones al aire libre para el monitoreo de actividades y transmitirlas imágenes en tiempo real.

La ejecución del proyecto inició con la adquisición de información por parte de virtuales usuarios del dispositivo planteado, quienes aportaron diferentes criterios de diseño para efectuar un proceso de agrupación y tabulación de los datos y aplicar a esta información el despliegue de la función de calidad para obtener los requerimientos técnicos globales con los cuales se planteó el diseño de la consola.

Con los requerimientos ya establecidos, se buscó los materiales adecuados y aptos para el ensamblaje de la consola, con los cuales se construyó el prototipo de la consola que cumple con las características técnicas.

Una vez que el prototipo fue ensamblado y probado, se procedió a realizar diferentes ensayos de operación en campo para verificar su funcionamiento y validar que cumple con el objetivo principal de asociarse a un drone con cámara, visualizar la imagen captada por la cámara en el drone, transmitir esta información hacia la consola en tiempo real y almacenar esta información para su visualización en un computador o dispositivo móvil.

La consecución de este proyecto permitió establecer condiciones generales para el adecuado uso de la consola y el drone en el campo relacionadas a su funcionamiento, operación y almacenamiento.

ABSTRACT

The main aim of the present project research is the design and implementation of a console that enables the users to control a drone a kilometer away, in different outdoor locations for monitoring activities and transmitting images in real time.

The project implementation began with information acquisition by virtual users of the proposed device, these users contributed with different design criteria to carry out a gathering process and data tabulation; this information will be applied in the display of the quality function to obtain the global technical requirements which were used to propose the console design.

With the established requirements, the suitable and adequate materials were searched for assembling the console, which were used to build the console prototype that fulfill with the technical characteristics.

Once the prototype was assembled and tested, several functioning tests were performed in order to verify if it complies its main objective, the prototype had to work properly with a camera attached to a drone. The image captured by the camera was supposed to be visualized. This information needed to be transmitted to the console in real time in order to be stored for display on a computer or mobile device.

The achievement of this project permitted to establish several general conditions for the proper use of the console and the drone in the field. These conditions were related to its functioning, operation and storage.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la generalización de diferentes tecnologías permite a las personas el acoplarlas a la cotidianidad, volviéndolas una herramienta más para sus labores y en muchos casos, se convierten en algo imprescindible para sus tareas.

En el presente proyecto técnico se diseña una consola para registrar imágenes en tiempo real de diferentes actividades en sitios al aire libres usando un drone.

A continuación, se detalla con brevedad el contenido del desarrollo de este proyecto.

El capítulo 1, contiene la información general desarrollada previamente que sirve como primera base para la realización de este proyecto.

El capítulo 2, contiene el ESTADO DE ARTE; Una compilación teórica de diversas fuentes acerca de las generalidades de los drones, su aplicación, las ventajas de su uso en campo y demás temática general relacionada a este tipo de equipos y además incluye la base teórica del desarrollo de la función de calidad con la cual se complementó el desarrollo del concepto para la idealización del prototipo de la consola.

En el capítulo 3, Se puede encontrar toda la información pertinente a adquisición de información como base de trabajo, análisis de estos datos y presentación de resultados, e implementación del prototipo con las especificaciones obtenidas.

En el capítulo 4, se registra las pruebas de la implementación de prototipo en campo y sus resultados y el análisis de estos.

Al final se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas tras la consecución del proyecto.

CAPÍTULO 1.
ANTECEDENTES

1.1 Título del proyecto

Diseño e implementación de una consola para control de un drone y registro de imágenes para monitoreo de actividades en sitios de concurrencia masiva localizadas al aire libre.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar una consola para control de un drone y registro de imágenes para monitoreo de actividades en sitios de concurrencia masiva localizadas al aire libre.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar las condiciones de operación del drone para el usuario y utilización del equipo con base en sus características técnicas.
- Diseñar e implementar la consola de operación del drone.
- Registrar la información generada del monitoreo por imágenes con el drone.
- Desarrollar un procedimiento para la aplicación del equipo en lugares al aire libre.

1.3 Justificación e importancia

El monitoreo de actividades de las personas con el fin de precautelar su vida y mantener el orden social frente a diversas situaciones es importante para toda la colectividad y se propone el uso de este tipo de tecnología para llevar a cabo este propósito, para lo cual se seleccionarán diferentes lugares donde la operación del drone no implique riesgos ni confrontaciones para el operador ni para las personas que se encuentren alrededor ya que como es conocido, hasta el momento no existe una normativa explícita que regule el uso de drones en espacio aéreo urbano.

1.4 Alcance del proyecto

La realización del proyecto contempla:

- La adquisición de un drone que permita la transmisión de imagen en tiempo real.
- Investigar el funcionamiento adecuado del equipo adquirido.
- Realizar las configuraciones necesarias (armado, carga de firmware, etc.) requeridas para la operación del drone.
- Implementar la consola para el control del drone y registro de imagen capturada.
- Plantear las condiciones en donde será puesto a prueba el desenvolvimiento del drone.
- Realizar el análisis del adecuado funcionamiento del drone y del almacenamiento de la información generada en las pruebas.
- Registrar las actividades efectuadas por el equipo y por los operadores.
- Presentación de los resultados.
- Rango de hasta 1 km.
- Autonomía de hasta 25 minutos.

1.5 Beneficiarios

La comunidad universitaria de la Universidad Politécnica Salesiana será beneficiada al disponer de un equipo novedoso y de aplicaciones múltiples para el crecimiento técnico-académico de los estudiantes de las menciones en Sistemas Industriales y de Telecomunicaciones, para que su conocimiento y técnica se incremente en la operación de este tipo de equipos.

CAPÍTULO 2.
ESTADO DEL ARTE

2.1 El drone

Drone es un término usado generalmente para llamar a los ‘vehículos no tripulados’ y este término por desconocimiento, ha sido asociado únicamente para los vehículos no tripulados que surcan los cielos, pero el término ‘Drone’ es aplicado para todo vehículo (aéreo, marítimo o terrestre) que incorpora múltiples tecnologías, capaz de ser controlado de forma remota (inalámbrica) por un operador y que también posee la capacidad de realizar varias funciones con cierta autonomía.

2.2 Historia general de los drones

El origen de los drones y su desarrollo tiene su origen en la milicia, aunque podría no gustarle a la sociedad, el avance de la tecnología se da con fines de guerra y los drones no son indiferentes a esta realidad. La idea de emplear equipos operados a distancia se remonta al periodo de la Primera Guerra Mundial y su aplicación real se inicia con la Segunda Guerra Mundial donde se los usaba para el adiestramiento del personal encargado de las baterías antiaéreas y teledirigir aviones pero los drones tal como se los conoce en la actualidad no harían su aparición hasta finales del siglo XX donde drones voladores (UCAV) dotados de un mayor grado de autonomía en comparación a sus antecesores, y su principal tarea fue intervenir en el campo de combate, por citar un ejemplo en la Guerra del Golfo. (Cortes, 2014, pág. 1)

A continuación, se muestra la línea del tiempo en donde se denotan eventos registrados de la aparición de los equipos controlados por radio, hasta cuando los drones ya tienen un papel protagónico en la sociedad.

Línea de tiempo dispositivos tele-operados (RC-Drones)

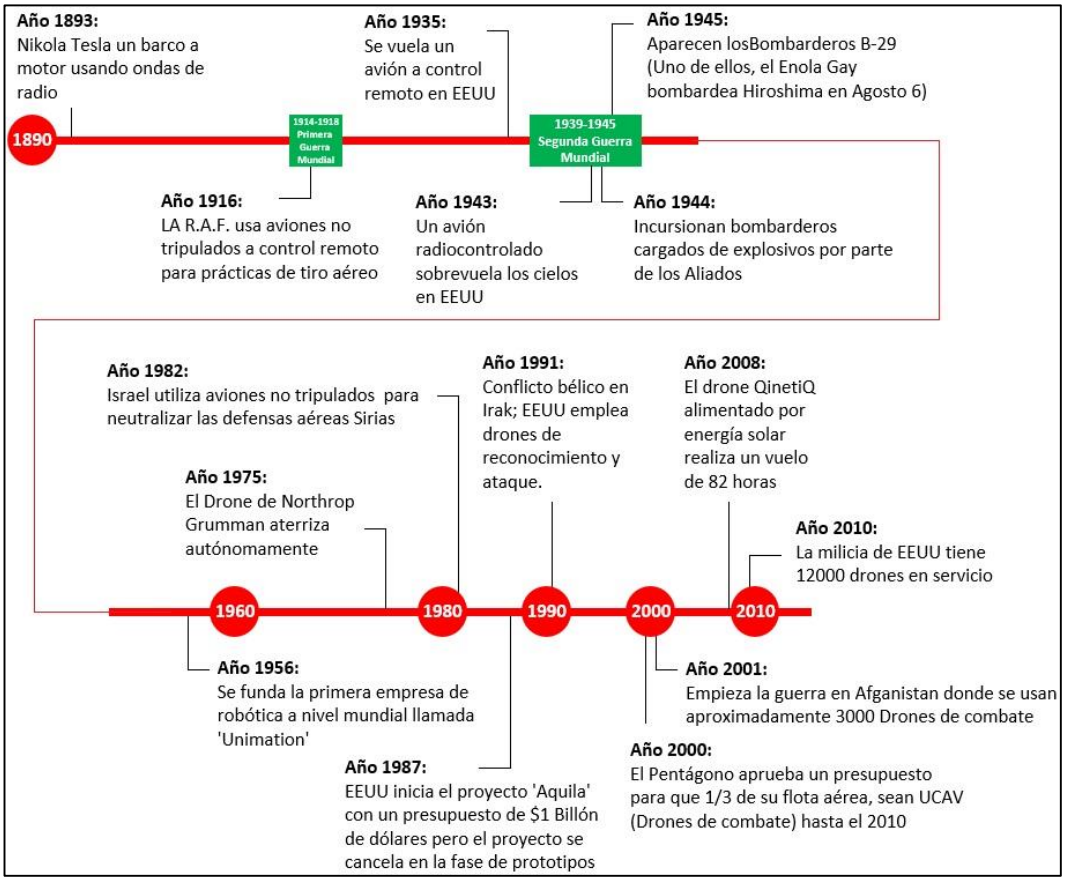


Figura 1. Línea de tiempo desde la concepción de equipos teleoperados hasta los drones actuales
Fuente: MailOnline

2.3 Clasificación de los drones

Para catalogar a los drones, es importante tener presente que muchos de ellos comparten características comunes como son: cámaras de alta definición, GPS, computadores a bordo, etc, pero además se debe considerar de forma general que los drones usan diferentes sistemas que permiten su desplazamiento como lo son sistemas de propulsión a chorro, motores eléctricos o combustible fósil que se acoplan con hélices y tomando en cuenta estos puntos. La clasificación de forma global para los drones se plantea de la siguiente forma:

2.3.1 Por su medio de desplazamiento

- **Terrestres**: Como su nombre lo indica, son drones que se desplazan por diversos terrenos, desde llanos hasta terrenos agrestes. (ZEKIDAR, 2015)

- **Marítimos**: Su campo se amplía un poco más con respecto al medio terrestre ya que organizaciones de seguridad han implementado drones tipo lancha y tipo submarino que les facilitan sus tareas en este complicado medio. (STRIPES, 2015)

- **Aéreos**: Los drones aéreos, como su nombre lo indican, tienen su medio de aplicación en el aire, desde drones tipo avión, cuadricóptero (4 rotores-hélices) y multicópteros (6-8 rotores-hélices). (ZEKIDAR, 2015)

2.3.2 Por su campo de aplicación

En (David, 2015) se menciona a los drones y su clasificación de la siguiente manera:

- **Drones de uso militar**: Los drones aéreos en la milicia son los que tienen un uso más frecuente, tienen una denominación especial que es UAV (Unmanned Air Vehicle) y UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle) cuyas traducciones serían Vehículo Aéreo no Tripulado y Vehículo Aéreo no Tripulado de Combate. Son aquellos diseñados y preparados para el vuelo. Existen varios tipos de drones empleados con fines militares, desde aquellos que se diseñan como aviones (con alas, alerones, turbinas) hasta los tipo "helicóptero" mismos que se encuentran dotados de varios rotores (desde 2 hasta 6 como se conoce en aplicación práctica) y estos rotores le permiten al drone su desplazamiento y maniobrabilidad, además de incorporar giroscopios para mantener su estabilidad en vuelo. Se encuentran equipados con computadores avanzados, sistemas de comunicación de largo alcance, GPS satelital, cámaras de alta resolución (con espejos parabólicos, cámaras térmicas, etc.) y armamento, todo este equipamiento es requerido para las diferentes misiones a las que son enviados estos drones.

- **Drones de uso civil - UAV**: Unmanned Air Vehicle son las siglas de Vehículo Aéreo no Tripulado y aquí se agrupa a todo aquel drone cuyo propósito de fabricación y uso no esté vinculado en actividades militares o con fines bélicos. Para este tipo de drones orientados hacia los civiles, existe también una clara diferenciación en cuanto al grupo de usuarios que los operan y estos son:

    - **Drones de uso comercial**: Son drones empleados para el transporte de productos y otros insumos por parte de grandes empresas. su costo es bastante elevado tomando el grupo en el que se ubica y esto se debe a las prestaciones que estos drones ofrecen como por ejemplo, viajar largas distancias llevando paquetes por diversas zonas dentro y fuera de la ciudad.

    - **Drones para aficionados**: Este es un grupo creciente en el que la adquisición de un drone se ve encaminado a la recreación de las personas, con equipos capaces de realizar acrobacias aéreas y otros que se han vinculado a la fotografía y grabación de vídeo de actividades cotidianas, deportivas, etc. desde el aire.

- **Drones de uso gubernamental**: Puede confundirse su uso con el militar ya que estas instituciones son ramas de los diferentes estados, pero sus aplicaciones se ubican en una línea paralela; orientado a la vigilancia y monitoreo de actividades por parte de funcionarios o entidades gubernamentales.

2.4 Aplicaciones

Las aplicaciones de los drones siempre estarán en función de las necesidades de los usuarios y por lo tanto sus aplicaciones se extienden cada día. De forma general se pueden citar las siguientes aplicaciones de los drones según (Ounae, 2015)

- **En el campo militar**: Es ya conocido el uso que se ha dado a los drones en el campo de batalla; rastreo de células terroristas, identificación de personas, ataques con diverso armamento son sólo ejemplos resumidos de los que estos equipos son capaces de conseguir cuando se emplean para fines bélicos.

- **Aeromodelismo**: Se lo cita como ejemplo de un hobby con muchos adeptos, sin duda toda persona que haya manejado los pequeños equipos de radiocontrol, de seguro ya se encuentran involucrados con los drones. Organizando competencias o simplemente por ocio; el manejo de un drone para estas personas es una experiencia reconfortante.

- **Mensajería**: Empresas como Amazon o Domino's Pizza ya se encuentran usando drones para el traslado de encomiendas simplemente fijando puntos de partida y destino, lo que le sirve al drone para alcanzar a su destinatario y regresar a su centro de comando.

- **Vigilancia**: La vigilancia es uno de los mejores usos para los drones ya que por su capacidad de ágil desplazamiento, son capaces de llevar la vigilancia por video al siguiente nivel y ser un buen reemplazo de los sistemas con cámaras estáticas. Con una herramienta móvil, se facilita la búsqueda, identificación de focos conflictivos, rastreo de personas, vigilancia de actividades ilícitas, etc. en un campo tan amplio que el límite será simplemente el nivel tecnológico que posean estos drones.

- **Búsqueda y rescate**: Si una persona llegase a necesitar de auxilio en mares, lagos, ríos desbordados u otras zonas de desastre, drones equipados con boyas salvavidas podrían ser enviados para poner en resguardo al necesitado, trasladando objetos de primera necesidad como alimentos y medicinas e incluso algunos drones podrán remolcar a personas hasta una zona segura.

- **Investigación científica**: Monitorear el desplazamiento de conglomerados animales, poder acercarse hacia zonas con actividad volcánica elevada, acceder a sitios arqueológicos en donde la mano humana podría causar un daño irreparable, o llegar a zonas en donde un incendio se esté produciendo; son sólo unas cuantas ideas del amplio potencial que un drone puede aportar al ámbito de la investigación científica en el campo.

- **Cartografía**: un drone es un gran aporte para esta actividad ya que, por sus capacidades, permite fotografiar el terreno y dicho registro de imagen, podría ser usado para la estructuración de los planos.

- **Fotografía**: La fotografía es más que un hobby; es una actividad económica practicada por muchas personas, amateurs y profesionales ven en los drones a un valioso aliado que permite registrar los momentos que sean de importancia para el fotógrafo.

- **Periodismo**: El periodismo siempre se caracterizado por usar todo tipo de herramientas disponibles para lograr la cobertura de un suceso importante y es algo obvio el pensar que un drone sería de gran utilidad para toda persona abocada al periodismo, sea impreso, televisado o en línea.

2.5 Ventajas y desventajas

Las diferentes ventajas y desventajas que presenta el uso de drones dependerán estrictamente de la actividad para su aplicación y además tomando en cuenta toda implicación, sea técnica, ética y/o económica que conlleve el desenvolvimiento de la misma. Se expone a continuación los diferentes beneficios y contras de la aplicación de los drones, algunas según el criterio de (Andave, 2014, págs. 1-2) y otras, de criterio personal.

Ventajas:

- **Reducción del riesgo laboral**: Al ser vehículos operados a distancia, implica que el operador no expone su integridad física a diversos riesgos para los que el uso de drones está orientado. Esta ventaja se considera la más importante ya que una de las mayores consignas sociales es el cuidado de la vida de toda persona.

- **Acceso y operación en zonas de alto riesgo o de difícil acceso**: Mantiene relación con los antes señalado, los drones pueden incursionar en zonas peligrosas para el hombre, campos minados, zonas con gases tóxicos, etc. o lugares de acceso difícil, zonas pantanosas, precipicios, áridas, y demás lugares que no brindan un acceso seguro y confiable para las personas.

- **Reducción de costos**: Este apartado depende del punto de vista en que se analice ya que si bien, el costo de un drone es elevado al compararlo con un dispositivo de radio control, las ventajas de su uso pueden conllevar un gran ahorro de recursos económicos y humanos dependiendo de la actividad a la que se avoque. También se puede contrastar su beneficio económico en actividades que involucren a una aeronave-piloto y su costo de movilización, combustible, permisos aeroportuarios, etc. Para actividades de fotografía aérea, localización

de personas en zonas abiertas (desiertos, mares y otros) por citar como ejemplos.

Desventajas:

- **Seguridad**: Una de las desventajas que presentan estos dispositivos es la alta demanda de seguridades que requieren ya que sus enlaces podrían ser hackeados y utilizarlos para otras actividades que pueden resultar ilícitas. Se tiene un precedente de esto en los conflictos bélicos de Irak y Afganistán donde insurgentes emplearon virus informáticos para inhabilitar drones de combate del ejército estadounidense mediante un programa informático llamado SkyGrabber.

- **Comunicaciones**: Aún persisten problemas de retraso en el envío-recepción de instrucciones o eventos entre el drone y el operador. Esto se debe a varios factores que pueden ser geográficos, climatológicos, del drone o desde la estación de operación y estas dificultades pueden conllevar a fallas críticas que pueden ser desastrosas para el equipo o para la actividad a la cual fue enviado el drone.

- **Uso**: Las personas pueden hacer un mal uso de drones, violando la privacidad de las personas (fotografiando y vídeograbando sus actividades personales, íntimas o laborales), vulnerando seguridades (hackeando sistemas de seguridad en puertas o recintos), violentando zonas restringidas para personal no autorizado o para el tráfico de drogas y comercialización de armas (de fuego, biológicas o de destrucción masiva)

- **Ética**: El mal uso o inconciencia en campos de batalla que puede acarrear la muerte de personas inocentes.

- **Comercialización**: No existe un control de los equipos que se comercializan ni de las actividades a las que se dedican.

- **Falta de regulación**: Pocos países se encuentran en la implementación de una normativa para el uso y expendio de drones.

- **Económicas**: También es una de las grandes consideraciones que se debe tomar en cuenta el uso de drones ya que su adquisición y costo de

mantenimiento resulta ser hasta 15 veces más elevado que la operación de naves tripuladas por lo que adquirirlos y usarlos debe ser una decisión muy centrada en base a los objetivos del adquiriente.

- **A futuro**: Una de las mayores preocupaciones para la sociedad es que se pueda dotar de una gran inteligencia artificial avanzada a estos dispositivos y que esta tome malas decisiones que puedan acarrear tragedias que involucren a seres vivientes.

2.6 Metodología QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT) – desarrollo de la función de calidad

El desarrollo de la función de calidad es un método globalizador, consiste en un proceso estructurado para convertir las necesidades de los usuarios (voz del usuario) en requerimientos técnicos y que estas formen parte en la definición de un producto. También se usa esta herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida del producto. (Romeva, Diseño Concurrente, 2002, pág. 177)

Esta metodología se desarrolla en un equipo pluridisciplinario que trabaja en consenso para realizar las aproximaciones creativas de los planteamientos y la síntesis de nuevas ideas de una manera estructurada.

2.6.1 Las cuatro fases

El desarrollo de la función de calidad se divide en cuatro fases (Romeva, Diseño Concurrente, 2002, pág. 177). Se representan con una matriz cuyas características de diseño aportan las especificaciones de entrada de la matriz siguiente a manera secuencial (cascada). Este concepto se ilustra en la Figura 2.

Las fases antes mencionadas son:

a) **Planificación del producto**: Fase más conocida como ‘casa de la calidad’, traduce los requerimientos o demandas de los usuarios en características técnicas.

b) **Despliegue de componentes**: Convierte las características técnicas de la fase de planificación en características de los componentes.

c) **Planificación del proceso**: Traduce las especificaciones de los componentes de la fase de despliegue de componentes, en características del proceso de fabricación.

d) **Planificación de la producción**: Traslada las especificaciones de la planificación del proceso, en procedimientos de la producción.

Esquema general del desarrollo de la función de calidad

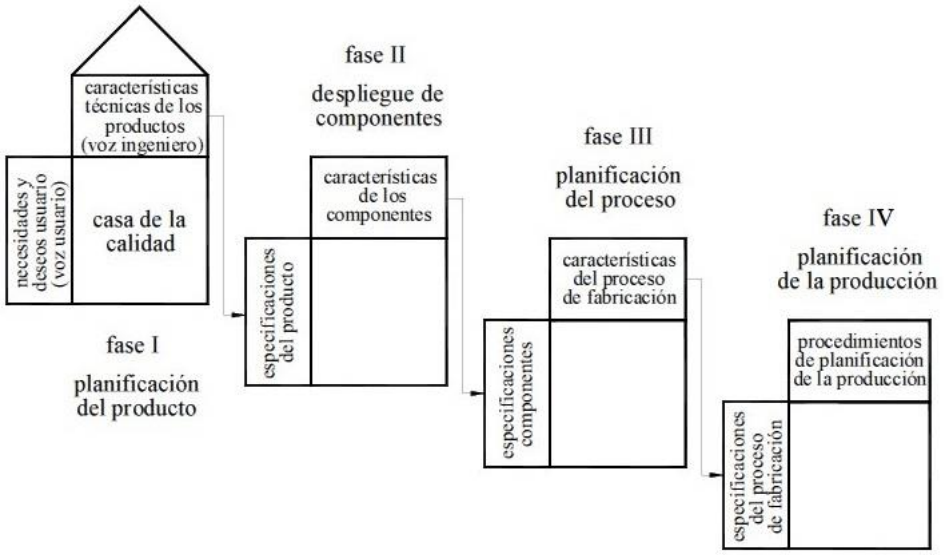


Figura 2. Pasos para el desarrollo de la función de calidad
Fuente: (Romeva, 2002, pág. 178)

2.6.2 La casa de la calidad

La casa de la calidad traduce diferentes demandas hechas por los usuarios en características técnicas para el producto.

La casa de la calidad consta de seis pasos según (Romeva, Diseño Concurrente, 2002, pág. 178) los cuales son:

1. **Voz del usuario**: Detalla las demandas, requerimientos y/o deseos del usuario.
2. **Análisis de competitividad**: Se describe el grado de satisfacción que el usuario tienen del producto de la empresa, con respecto a empresas competidoras que ofertan un producto similar.
3. **Voz del ingeniero**: Describe diferentes requerimientos técnicos que deben articularse con la finalidad de satisfacer las necesidades del usuario.

4. **Correlaciones**: Se establece las correlaciones entre los requerimientos de la voz del usuario y la voz del ingeniero.

5. **Comparación técnica**: Compara el producto ofertado con uno similar disponible en el mercado.

6. **Compromisos técnicos**: Establece compromisos de potenciales mejoras de las características técnicas del producto.

2.7 Especificaciones técnicas

La especificación técnica es la descripción detallada de características o condiciones (generalmente mínimas) que cumple un producto o servicio con base en la información de los requerimientos del cliente y el detalle de características específicas que señale el productor. (BUILES, 2010, pág. 31)

2.8 Implementación del prototipo

La implementación del prototipo presenta dos ventajas con respecto al modelo virtual los cuales son:

a) Reproducción más real del comportamiento del dispositivo.

b) Plantear diversos escenarios de operación que con dificultad pueden ser apreciados en un ambiente virtual.

Es necesario que se construyan los prototipos necesarios y efectuar los ensayos pertinentes para validar el "producto" e iniciar con su producción. (Romeva, Diseño Concurrente, 2002, pág. 46)

CAPÍTULO 3.
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROTOTIPO

3.1 Voz del usuario - requerimientos del usuario

Los requerimientos de los virtuales usuarios conforman la “voz del usuario” y esta voz se debe encaminar a dictar diferentes características técnicas. Esto se logró realizando una encuesta dirigida a un grupo de treinta personas con conocimiento de drones.

Se solicitó a los encuestados que escriban su principal demanda para el diseño de la consola de operación del drone, por lo que de las múltiples ideas que llegaron o no a tener, se les pidió anotarla textualmente, sin importar que su idea haya sido expresada de forma vaga, incompleta o con redundancias.

3.1.1 La encuesta

Se elaboró una encuesta electrónica con la herramienta de formularios en línea de DRIVE (Google).

La encuesta se aplicó en el mes de julio de 2015 desde las 19:55 el día sábado 25, domingo 26, lunes 27, y martes 28 hasta las 11:25, hora en que se cerró el formulario en línea.

Se dirigió la encuesta a un selecto grupo de treinta personas afines a la ingeniería eléctrica, electrónica y mecatrónica, los resultados tomados directamente desde los resultados de DRIVE, se encuentran en el Anexo 1, en el archivo con nombre y extensión Ptupsdrone-re-01.xlsx en la hoja de nombre RESULTADOS ENCUESTA DRIVE.

La encuesta modelo (impresión web pdf) se encuentra en la carpeta Anexo 1 con el nombre y extensión Ptupsdrone-en-01.pdf.

Una vez finalizada la encuesta, cada una de las personas participantes visualizó en pantalla el siguiente mensaje que indicó a finalización de su participación en la encuesta y como un comprobante de la realización de la misma.

Mensaje de culminación de la encuesta electrónica

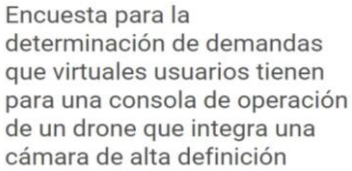


Figura 3. Mensaje de aviso de la herramienta de formularios online de Google
Fuente: Google

3.1.2 Resultados de la encuesta

En la continuación del proceso de diseño, las demandas que tienen los encuestados generadas de la encuesta deben organizarse apropiadamente y para ello después de la revisión, se efectuó un arreglo de grupos:

- **Grupo 1**: Enfocados en el uso de la pantalla y de la utilización de equipo propio.
    - **Encuestados:** 1, 3, 9, 13, 14, 18, 21, 29, 30
- **Grupo 2**: Es una propuesta o casi demanda obligatoria para muchas personas el que todos los dispositivos electrónicos incorporen una batería que no se descargue con facilidad ante el uso.
    - **Encuestados:** 2, 10, 12, 16, 20, 24 y 28
- **Grupo 3**: Este grupo demanda que la consola de operación debe permitir que el control del drone tenga un buen alcance, por sobre los equipos de uso convencional de radio-control.
    - **Encuestados:** 23 y 27
- **Grupo 4**: Plantean que la consola permita controla el drone a una altura considerable para lograr un adecuado registro aéreo fotográfico y en vídeo.
    - **Encuestados:** 8, 15, 19 y 25
- **Grupo 5:** Esta demanda plantea el uso de la consola en diferentes lugares del Ecuador en los cuales las condiciones climáticas son diferentes y en especial el clima y la temperatura varían de lugar a lugar.

    - **Encuestados:** 11

- **Grupo 6:** Propone una consola cuyo peso no sea excesivo para transportarse.
    - **Encuestados:** 5
- **Grupo 7**: En este grupo se pide que un tiempo bajo para la puesta en funcionamiento de la consola del drone.
    - **Encuestados:** 4 y 7
- **Grupo 8:** La demanda de este grupo es que el costo de implementación de la consola de operación del drone no sea excesivamente elevado.
    - **Encuestados:** 6, 17, 22 y 26

3.1.3 Organización de las demandas

El siguiente paso es traducir todas las demandas, ideas o requerimientos aportados por los encuestados a expresiones más simplificadas para poderse evaluar con carácter técnico.

Las demandas generadas de la agrupación de la encuesta son:

- Uso de dispositivo pantalla portátil a elección del usuario
- Batería con suficiente capacidad para su adecuado desempeño de la actividad
- Que permita controlar el drone a una gran distancia
- La consola debe permitir el manejo del drone a mucha altitud
- Uso de la consola en varios climas
- Peso del equipo no excesivo (apropiado para la tarea que desempeñará)
- Que se pueda poner en funcionamiento de forma rápida
- Que el costo de la consola sea razonable

Después de la agrupación es necesario realizar el conteo de los votos que corresponden a cada grupo y presentar la información adquirida, para lo cual se presenta la siguiente

tabla de datos que muestra la cantidad de votos y el correspondiente porcentaje del total.

Tabla 1.
Conteo de votos por agrupación de demandas

Demanda	Votos	Porcentaje
Peso del equipo no excesivo (apropiado para la tarea que desempeñará)	1	3,33%
Uso de la consola en varios climas	1	3,33%
Que se pueda poner en funcionamiento de forma rápida	2	6,67%
La consola debe permitir el manejo del drone a mucha altitud	3	10,00%
Que permita controlar el drone a una gran distancia	3	10,00%
Que el costo de la consola sea razonable	4	13,33%
Batería con suficiente capacidad para su adecuado desempeño de la actividad	7	23,33%
Uso de dispositivo pantalla a elección del usuario.	9	30,00%
TOTAL	30	100%

Nota: Tabla conformada de la agrupación de requerimientos afines de las personas encuestadas y sus porcentajes.
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

En la figura 4 se observa de forma gráfica la cantidad de votos registrados para las demandas agrupadas.

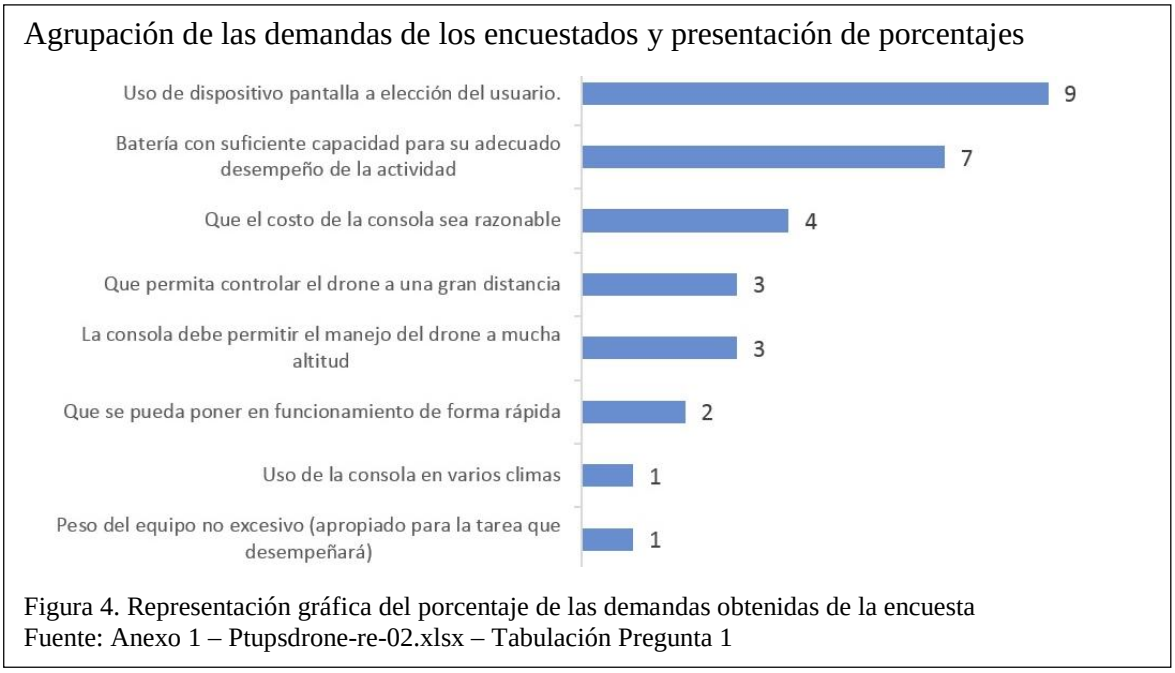


Figura 4. Representación gráfica del porcentaje de las demandas obtenidas de la encuesta
Fuente: Anexo 1 – Ptupsdrone-re-02.xlsx – Tabulación Pregunta 1

3.2 Voz del ingeniero – requerimientos del equipo de desarrolladores

El equipo de desarrolladores del proyecto realizó la "traducción" de las demandas que fueron agrupados en la sección de la voz del usuario y de esta forma, darle un criterio técnico medible a esos requerimientos. De esta "traducción" se obtuvieron los siguientes requerimientos:

- Tamaño de pantalla
- Capacidad de la batería
- Distancia de manejo
- Alcance de altura de vuelo
- Temperatura de trabajo
- Peso de la consola
- Tiempo de puesta en operación
- Precio

3.3 Análisis de la competencia

Para el análisis de la competencia, se emplea el método de Benchmarking, donde se analizan diferentes equipos disponibles en el mercado para la comercialización con características tales como tamaño de expansión de soporte, capacidad de batería, distancias de alcance del transmisor, etc. por lo tanto se presentan las siguientes opciones:

- **DJI 5.8 GHz Remote Control**: Mando de control para los drones de la serie Vision+, al que se le añaden dos elementos para darle un mayor potencial de trabajo, un transmisor extra para mayor alcance y un soporte para ubicar un smartphone o pantalla externa que permita la visualización en tiempo real de imagen enviadas desde el drone con equipos del fabricante o de terceros. Este equipo posee las características mostradas en la tabla 2.

Tabla 2.
Características del DJI 5.8 GHz Remote Control

Item	Detalle
Fabricante	DJI
Tamaño de soporte de pantalla	5,7 Pulgadas
Capacidad de la batería	2000 mAh (Manual del equipo)
Distancia de manejo	700 metros (Sin obstáculos - Manual del equipo)
Altura de vuelo	120 metros (Vuelo seguro - Manual del equipo)
Temperatura de trabajo	0 °C - 40 °C (Manual del equipo)
Peso de la consola	1,21 Kg (Sólo mando - práctico)
Tiempo de puesta en operación	0,86 Min (prácticos sólo mando)
Precio	307 USD (precio fabricante)

Nota: Tabla con atributos generales de un mando a distancia fabricado por DJI.
Fuente: DJI

- **SPEKTRUM DX4**: Mando de control básico que únicamente sirve para la operación del drone BLADE 350 QX2 RTF sin necesidad de usar un smartphone para controlar ciertas funciones, y al que sólo se le puede añadir un smartphone Android pequeño para visualizar imágenes en tiempo real enviadas desde el drone siempre y cuando se emplee el equipo de Horizon Hobby o equipo especializado de otro fabricante. Sus características relevantes están en la tabla 3.

Tabla 3.
Características del SPEKTRUM DX4

Item	Detalle
Fabricante	Horizon Hobby - BLADE
Tamaño de soporte de pantalla	3,17 Pulgadas
Capacidad de la batería	2100 mAh (Vendedor del equipo)
Distancia de manejo	800 metros (Comentario experiencia de vuelo)
Altura de vuelo	45 metros (Vuelo seguro - Manual del equipo)
Temperatura de trabajo	5 °C - 49 °C (Manual del equipo)
Peso de la consola	0,27 Kg. (Sólo mando - Dato fabricante)
Tiempo de puesta en operación	1,12 Min (prácticos - sólo mando)
Precio	11,19 USD (precio fabricante)

Nota: Tabla con atributos generales de un mando a distancia para drones BLADE
Fuente: Horizon Hobby

3.4 Desarrollo de la casa de calidad

Una vez obtenidos los requerimientos en la "voz del usuario" y efectuadas las traducciones en la "voz del ingeniero" se obtiene la tabla 4 que permite visualizarlos frente a frente y se muestra a continuación:

Tabla 4.
Tabla de correspondencias entre la "voz del usuario", "voz del ingeniero", tipo de demanda y sus valores referenciales con unidades

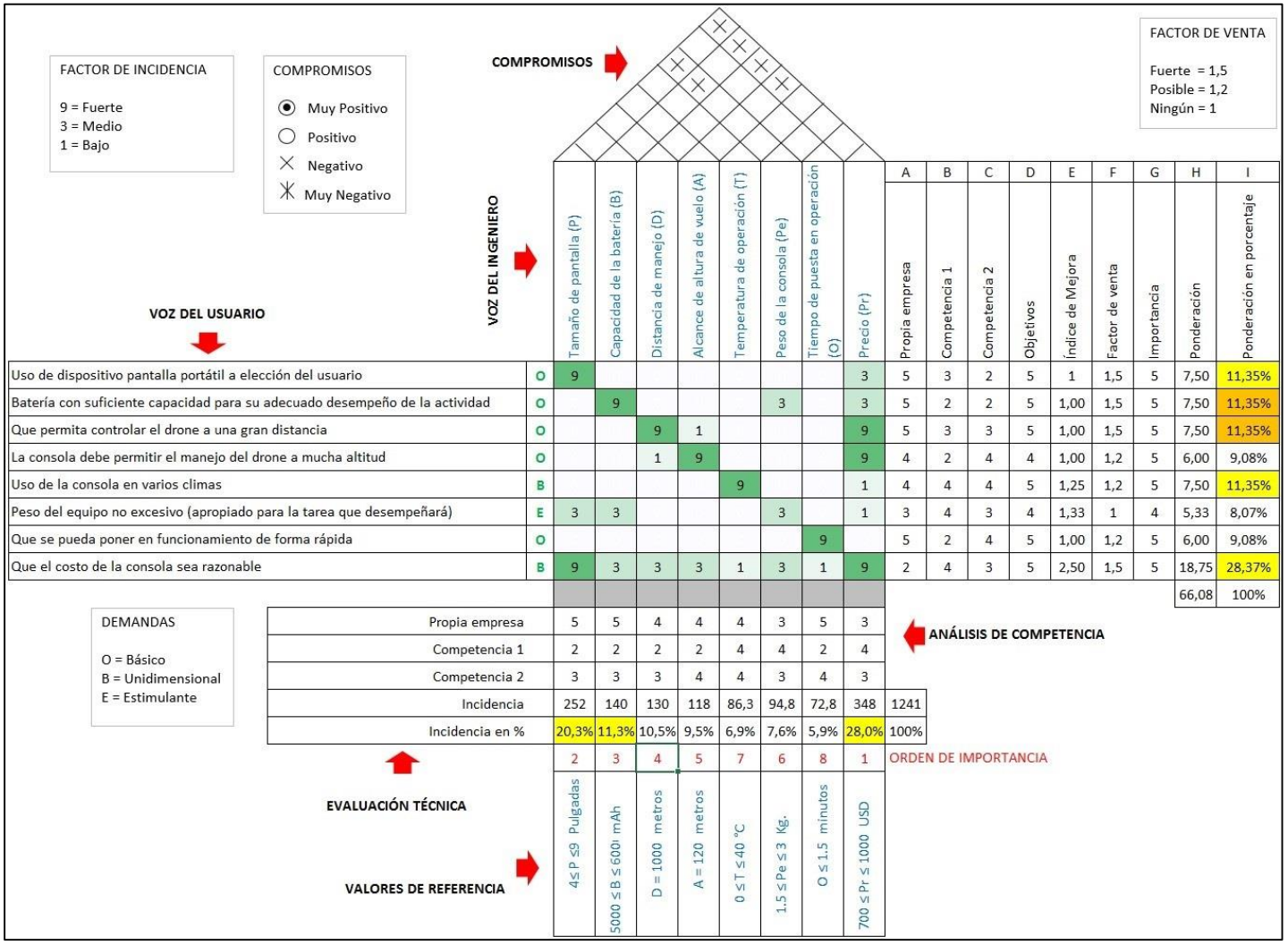
No.	Voz del Usuario	Voz del Ingeniero	Tipo de Demanda	Valores de Referencia
1	Uso de dispositivo pantalla portátil a elección del usuario	Tamaño de pantalla (P)	U	$4 \leq P \leq 9$ [Pulgadas]
2	Batería con suficiente capacidad para su adecuado desempeño de la actividad	Capacidad de la batería (B)	U	$5000 \leq B \leq 6000$ [mAh]
3	Que permita controlar el drone a una gran distancia	Distancia de manejo (D)	U	D = 1000 [metros]
4	La consola debe permitir el manejo del drone a mucha altitud	Alcance de altura de vuelo (A)	U	A = 120 [metros]
5	Uso de la consola en varios climas	Temperatura de operación (T)	B	$0 \leq T \leq 40$ [ºC]
6	Peso del equipo no excesivo (apropiado para la tarea que desempeñará)	Peso de la consola (Pe)	E	$1.5 \leq Pe \leq 3$ [Kg.]
7	Que se pueda poner en funcionamiento de forma rápida	Tiempo de puesta en operación (O)	U	$O \leq 1.5$ [Minutos]
8	Que el costo de la consola sea razonable	Precio (Pr)	B	$700 \leq Pr \leq 1000$ [USD]
Para la columna TIPO DE DEMANDA se tiene: **B**: Demanda Básica **U**: Demanda Unidimensional **E**: Demanda Estimulante				

Nota: Relación entre las diferentes voces ligadas al despliegue de la función de calidad

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Con esta información se procede a la realización de la "casa de la calidad", que se muestra en la figura 5.

Casa de la calidad aplicada al desarrollo de la consola para el drone



FACTOR DE INCIDENCIA

9 = Fuerte
3 = Medio
1 = Bajo

COMPROMISOS

Muy Positivo
Positivo
Negativo
Muy Negativo

FACTOR DE VENTA

Fuerte = 1,5
Posible = 1,2
Ningún = 1

COMPROMISOS

VOZ DEL INGENIERO

VOZ DEL USUARIO

		Tamaño de pantalla (P)	Capacidad de la batería (B)	Distancia de manejo (D)	Alcance de altura de vuelo (A)	Temperatura de operación (T)	Peso de la consola (Pe)	Tiempo de puesta en operación (O)	Precio (Pr)	A Propia empresa	B Competencia 1	C Competencia 2	D Objetivos	E Índice de Mejora	F Factor de venta	G Importancia	H Ponderación	I Ponderación en porcentaje
Uso de dispositivo pantalla portátil a elección del usuario	O	9							3	5	3	2	5	1	1,5	5	7,50	11,35%
Batería con suficiente capacidad para su adecuado desempeño de la actividad	O		9				3		3	5	2	2	5	1,00	1,5	5	7,50	11,35%
Que permita controlar el drone a una gran distancia	O			9	1				9	5	3	3	5	1,00	1,5	5	7,50	11,35%
La consola debe permitir el manejo del drone a mucha altitud	O			1	9				9	4	2	4	4	1,00	1,2	5	6,00	9,08%
Uso de la consola en varios climas	B					9			1	4	4	4	5	1,25	1,2	5	7,50	11,35%
Peso del equipo no excesivo (apropiado para la tarea que desempeñará)	E	3	3				3		1	3	4	3	4	1,33	1	4	5,33	8,07%
Que se pueda poner en funcionamiento de forma rápida	O							9		5	2	4	5	1,00	1,2	5	6,00	9,08%
Que el costo de la consola sea razonable	B	9	3	3	3	1	3	1	9	2	4	3	5	2,50	1,5	5	18,75	28,37%
																	66,08	100%

DEMANDAS

O = Básico
B = Unidimensional
E = Estimulante

	Tamaño de pantalla (P)	Capacidad de la batería (B)	Distancia de manejo (D)	Alcance de altura de vuelo (A)	Temperatura de operación (T)	Peso de la consola (Pe)	Tiempo de puesta en operación (O)	Precio (Pr)	
Propia empresa	5	5	4	4	4	3	5	3	
Competencia 1	2	2	2	2	4	4	2	4	
Competencia 2	3	3	3	4	4	3	4	3	
Incidencia	252	140	130	118	86,3	94,8	72,8	348	1241
Incidencia en %	20,3%	11,3%	10,5%	9,5%	6,9%	7,6%	5,9%	28,0%	100%
	2	3	4	5	7	6	8	1	ORDEN DE IMPORTANCIA

ANÁLISIS DE COMPETENCIA

EVALUACIÓN TÉCNICA

VALORES DE REFERENCIA

Tamaño de pantalla (P)	Capacidad de la batería (B)	Distancia de manejo (D)	Alcance de altura de vuelo (A)	Temperatura de operación (T)	Peso de la consola (Pe)	Tiempo de puesta en operación (O)	Precio (Pr)
4≤ P ≤9 Pulgadas	5000 ≤ B ≤ 6000 mAh	D = 1000 metros	A = 120 metros	0 ≤ T ≤ 40 °C	1.5 ≤ Pe ≤ 3 Kg.	O ≤ 1.5 minutos	700 ≤ Pr ≤ 1000 USD

Elaborado por: Autores
Fuente: Anexo 2 – Ptupsdrone-Matrizofd.xlsx - Matriz QFD

3.5 Análisis de la casa de la calidad

Al evaluar la "casa de la calidad" se evidencian los tres puntos principales que abarcan el 59.6% de las mejoras en los que se deben focalizar los esfuerzos. Los principales parámetros a ser considerados (numerados según su prioridad) son:

1. Uso de dispositivo pantalla portátil a elección del usuario.
2. Batería con suficiente capacidad para su adecuado desempeño de la actividad.
3. Que el costo de la consola sea razonable.

3.5.1 Especificaciones técnicas del proyecto

La "voz de ingeniero" es la encargada de dictar estas especificaciones y estas se muestran en la tabla 5.

Tabla 5.
Especificaciones técnicas para la consola

Producto	Consola de operación para un drone con cámara		
Especificaciones			
Concepto	**Propuesta**	**R-D**	**Descripción**
Tamaño de pantalla (P)	D	D	$4 \leq P \leq 9$ [Pulgadas]
Capacidad de la batería* (B)	D	R	$5000 \leq B \leq 6000$ [mAh]
Distancia de manejo* (D)	D	R	D = 1000 [metros]
Alcance de altura de vuelo (A)	D	D	A = 120 [metros]
Temperatura de operación (T)	D	D	$0 \leq T \leq 40$ [ºC]
Peso de la consola (Pe)	D	D	$1.5 \leq Pe \leq 3$ [Kg.]
Tiempo de puesta en operación (O)	D	D	$O \leq 1.5$ [Minutos]
Precio (Pr)	D	D	$700 \leq Pr \leq 1000$ [USD]
Propone	**D:** Diseño; **C:** Cliente; **M:** Marketing; **F:** Financiamiento		
R-D	**R:** Requerimiento; **MR:** Modificar requerimiento, **NR:** Nuevo requerimiento; **D:** Deseo		
*: Indica que su concepción e implementación es obligatoria por pertenecer al alcance del proyecto			

Nota: Especificaciones técnicas donde se establecen los principales atributos para la consideración de diseño, la pertenencia de su agrupación y la descripción con unidades

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.5.2 Incidencia y correlaciones

Se analiza las características técnicas de la "casa de la calidad" para el mejoramiento del proyecto (producto) y para esto se toma las tres incidencias con un porcentaje de 59.6%. Estas incidencias se presentan en orden de importancia y son:

1. Precio (28.0%)
2. Tamaño de pantalla (20.3%)
3. Capacidad de la batería (11,3%)

El equipo de desarrolladores establece las correlaciones necesarias en el techo de la "casa de la calidad", dando como resultado un conjunto de correlaciones negativas que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.
Correlación entre las características técnicas

Correlaciones Negativas
El peso de la consola crece si el tamaño de la pantalla aumenta con respecto al valor de referencia fijado, (correlación negativa).
Si se emplea una batería de mayor capacidad, por ende el peso se incrementa, (correlación negativa).
Si se incrementa el tamaño de la pantalla, el precio también aumenta, (correlación muy negativa).
Si se incorpora una batería de mayor capacidad, el precio se eleva, (correlación negativa).
El precio de la consola se incrementa si se emplea un transmisor de mayor alcance, (correlación negativa)
Si se integra un transmisor que permita alcanzar una altura considerable, el precio de la consola se eleva, (correlación negativa).

Nota: Tabla de correlaciones obtenidas del techo de la matriz donde se exponen correlaciones negativas entre las diferentes características planteadas con ausentismo de alguna correlación positiva para el desarrollo del prototipo

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.6 Análisis funcional

Esquema modular de la consola de manejo del drone

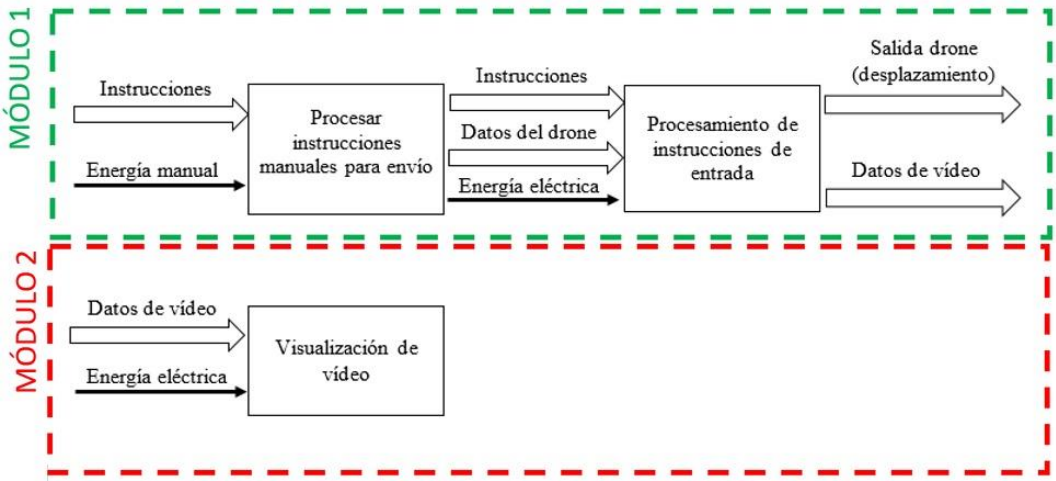


Figura 5. Representación modular en bloques que ilustran el funcionamiento de la consola
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Módulo 1: Este módulo corresponde al mando de la consola de operación del drone.

- Contener a los elementos electrónicos (circuitos, batería, botones, etc.).
- Recibir información manual para el desplazamiento del drone.
- Recibir información de vídeo desde el drone.
- Procesar la información recibida para envío/recepción a las diferentes salidas.

Módulo 2: Le corresponde la visualización de la imagen enviada desde el drone

La función del módulo 2 es:

- Visualizar la información de vídeo procesada en el módulo 1.

3.7 Generación de alternativas de solución

3.7.1 Módulo 1

Se establecen diferentes opciones de solución para el módulo 1 en la tabla 7

Tabla 7.
Alternativas de solución para el módulo 1

Funciones	Alternativas de Solución	
Soportar a los diferentes elementos electrónicos (circuitos, batería, botones, etc.)	Caja plástica	Case (chasis)
Recibir información manual para el desplazamiento del drone	Joysticks/botones	Periféricos de entrada
Recibir información de vídeo desde el drone	Antena + transceptor WiFi DJI	Modem WiFi PCI-E/USB + antena

Nota: Alternativas propuestas para el desarrollo del módulo 1 (espacio contenedor) de la consola de operación del drone.
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.7.1.1 Ventajas y desventajas de cada una de las alternativas de solución para el módulo 1

Se muestra y analiza las diferentes ventajas y desventajas de cada propuesta de solución por su función, para el módulo 1, es:

- Soportar a los diferentes elementos electrónicos (circuitos, batería, botones, etc.)

Solución 1: Caja plástica

Caja plástica

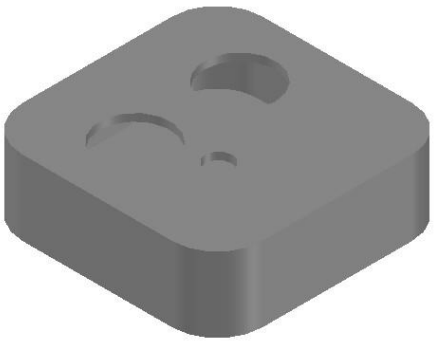


Figura 6. Espacio contenedor de los elementos de la consola
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 8.
Ventajas y desventajas de la caja plástica

Ventajas	Desventajas
Fácil de conseguir	No se lo puede usar para otro propósito más que para los elementos de control del drone (alimentación, circuitos, etc.)
Bajo precio de adquisición	Si se rompe o fisura, se lo debe reponer en su totalidad o de forma parcial para no afectar la estética del equipo
Se pueden usar diferentes materiales como el plástico o la fibra de vidrio que faciliten los cambios de forma y tamaño	Puede no tener un acabado estético o ergonómico que satisfaga a todas las personas.
Portable	

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 1 (caja plástica - espacio contenedor).
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Solución 2: Case (chasis)

Case (parte inferior)

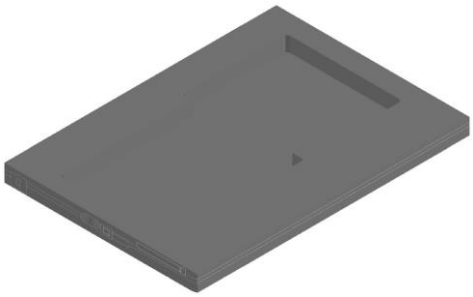


Figura 7. Case contendedor de elementos electrónicos
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 9.
Ventajas y desventajas de Case (chasis)

Ventajas	Desventajas
Permite que el equipo pueda tener componentes que no sólo sirvan para la consola sino para otras aplicaciones adicionales	Costo elevado
	Requiere más componentes electrónicos internos
	Peso elevado
	Volumen grande
	Puede no tener un acabado estético o ergonómico que satisfaga a todas las personas.
	Portabilidad reducida

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 1 (case - espacio contenedor).

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

- Recibir información manual para el desplazamiento del drone.

Solución 1: Joysticks/botones

Modelo de joystick y de botón

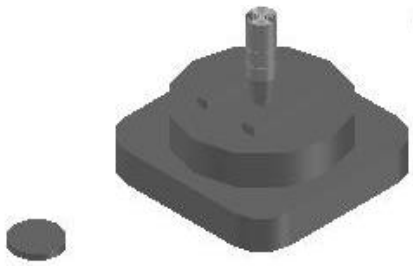


Figura 8. Modelo de joystick y de botón
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 10.
Ventajas y desventajas del uso de Joysticks y botones

Ventajas	Desventajas
Tamaño reducido	Las partes mecánicas se pueden atorar o romper.
Poco peso	
Costo conveniente	
Fácil uso	

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 1 (joystick y botones – ingreso de instrucciones manuales de desplazamiento).

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Solución 2: Periféricos de entrada

Periféricos de entrada

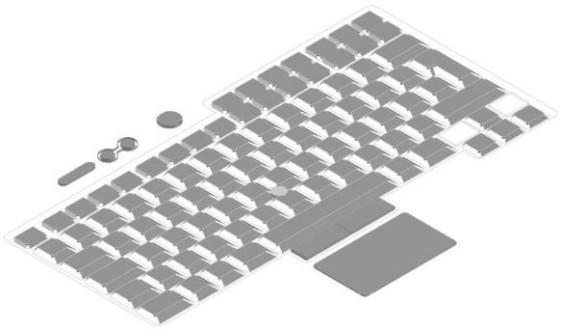


Figura 9. Teclado y pad mouse de portátil para el ingreso de las instrucciones de manejo del drone en la consola
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 11.
Ventajas y desventajas del uso de periféricos de entrada

Ventajas	Desventajas
Fácil configuración de funciones	Ocupación de espacio físico considerable
Fácil uso	Requiere de otros componentes electrónicos para su funcionamiento
Precio conveniente	

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 1 (Periféricos de entrada – ingreso de instrucciones manuales de desplazamiento).

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

- Envío/Recepción de información entre la consola y el drone

Solución 1: Antena + transceptor WiFi DJI

Antena dipolo de 40 mW – 16 dBm – 20 dBm

Figura 10. Antena para emisión/recepción de información
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 12.

Ventajas y desventajas del uso de antena + transceptor WiFi DJI

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación	Precio moderado
Garantía por defectos de fábrica	
Bajo peso	
Mayor alcance	
Tamaño reducido	

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 1 (transceptor WiFi DJI – Envío/Recepción de información entre la consola y el drone).

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Solución 2: Modem WiFi USB + antena 40 mW – 20 dBm

Modem WiFi USB + antena 40 mW – 20 dBm

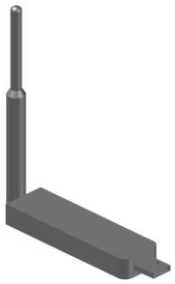


Figura 11. Modem WiFi con puerto USB para PC de escritorio o portátil
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 13.
Ventajas y desventajas del uso de Modem WiFi PCI-E/USB + antena

Ventajas	Desventajas
Económico	Recepción inferior
Bajo peso	Requiere de más hardware y software para poder funcionar
Tamaño reducido	

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 1 (Modem WiFi PCI-E/USB + antena – Envío/Recepción de información entre la consola y el drone).

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.7.1.2 Selección de la mejor alternativa para el módulo 1

De las propuestas de solución y de su análisis comparativo, se establece la solución para el módulo 1.

Tabla 14.
Soluciones para el módulo 1

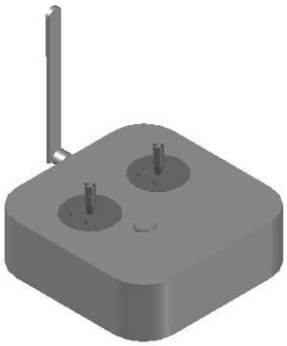
Funciones	Alternativas de Solución	
Soportar a los diferentes elementos electrónicos (circuitos, batería, botones, etc.)	Caja plástica	Case (chasis)
Recibir información manual para el desplazamiento del drone	Joysticks/botones	Periféricos de entrada
Recibir información de vídeo desde el drone	Antena + transceptor WiFi DJI	Modem WiFi PCI-E/USB + antena
	S1	S2

Nota: Agrupación y determinación de propuestas de solución del módulo 1 donde por medio de las líneas de color se toma los elementos constitutivos de las soluciones para el diseño del prototipo de la consola de operación del drone.

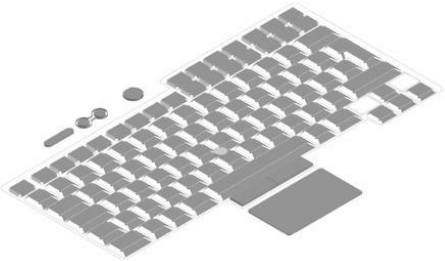
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

A continuación, se muestran las dos alternativas de solución para el módulo 1.

Alternativas de solución para el módulo 1



Solución módulo 1 - S1



Solución módulo 1 – S2

Figura 12. Propuestas de solución para la elaboración del prototipo para el módulo 1
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.7.2 Módulo 2

Las propuestas para la solución para el módulo 2 se muestran en la tabla 15.

Tabla 15.
Soluciones para el módulo 2

Funciones	**Alternativas de Solución**	
Visualizar la información de vídeo procesada en el módulo 1	Pantalla de dispositivo móvil	Pantalla de ordenador (PC)

Nota: Alternativas propuestas para el desarrollo del módulo 2 (visualización) de la consola de operación del drone.
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.7.2.1 Ventajas y desventajas de cada una de las alternativas de solución para el módulo 2

Se muestra y analiza las diferentes ventajas y desventajas de cada propuesta de solución para el módulo 2:

- Visualizar la información de vídeo procesada en el módulo 1

Solución 1: Pantalla de dispositivo móvil

Dispositivo móvil (pantalla de la consola)

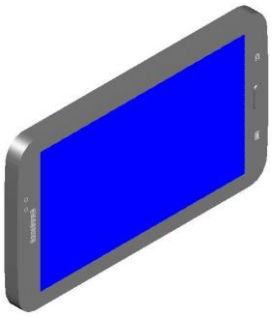


Figura 13. Tablet Samsung de 7 pulgadas propuesta para la construcción del prototipo para el módulo 2
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 16.
Ventajas y desventajas del uso de un dispositivo móvil

Ventajas	Desventajas
Admite diferentes tamaños de pantallas	Se limita a dos plataformas de operación
El costo no se eleva demasiado	
Peso no excesivo	
Reduce el tamaño de la consola	
Portable	

Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 2 (dispositivo móvil – visualización).
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Solución 2: Pantalla de computador

Pantalla de computador

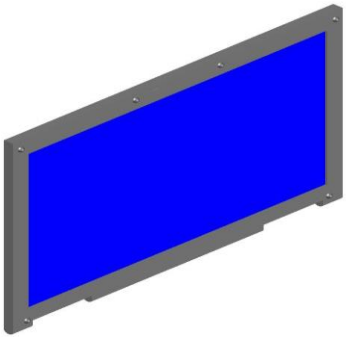


Figura 14. Pantalla de computador propuesto como solución para el módulo 2
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 17.
Ventajas y desventajas del uso de una pantalla de PC

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Visión amplia de la imagen transmitida	Requiere hardware especializado
Se puede ajustar a diferentes resoluciones dependiendo del tipo de pantalla y del controlador de imagen que administre los recursos gráficos para el hardware.	Aumenta el tamaño de la consola
	Aumenta el peso de la consola
	Se eleva el costo

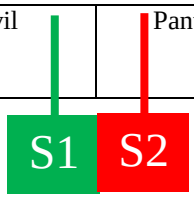
Nota: Presentación de ventajas y desventajas para la ejecución del módulo 2 (pantalla de computador – visualización).
Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.7.2.2 Selección de la mejor alternativa para el módulo 2

Del análisis comparativo de las propuestas de solución para el módulo 3, se obtiene:

Tabla 18.
Soluciones para el módulo 2

FUNCIONES	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	
Visualizar la información de vídeo procesada en el módulo 1	Pantalla de dispositivo móvil	Pantalla de ordenador (PC)



Nota: Agrupación y determinación de propuestas de solución del módulo 2 donde por medio de las líneas de color se toma los elementos constitutivos de las soluciones para el diseño del prototipo de la consola de operación del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

A continuación, se muestran las dos alternativas de solución para el módulo 2.

Alternativas de solución para el módulo 2

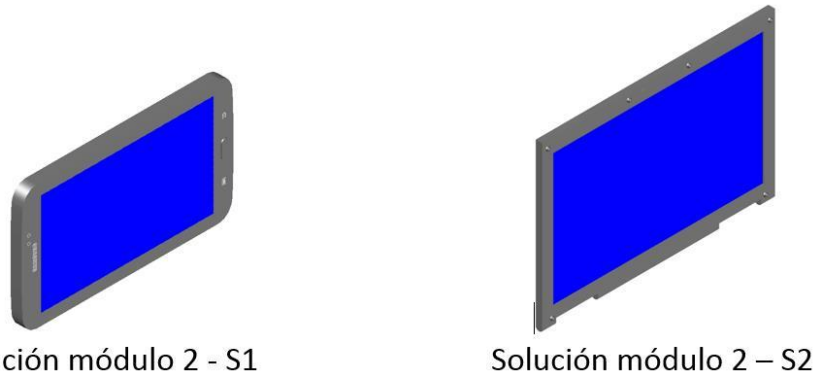


Figura 15. Comparativa gráfica de las alternativas de solución para el módulo 2
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Se integra la alternativa S1 (verde) del módulo 1 con la alternativa S1 (verde) del módulo 2 y se establece la primera solución, así también se une la alternativa S2 (rojo) del módulo 1 con la alternativa S2 (rojo) del segundo módulo 2

La alternativa de solución S1 (verde) está conformada de las soluciones indicadas en la tabla 19.

Tabla 19.
Alternativa de solución S1

Funciones	**Soluciones**
Soportar a los diferentes elementos electrónicos (circuitos, batería, botones, etc.)	Caja plástica
Recibir información manual para el desplazamiento del drone	Joysticks/botones
Recibir información de vídeo desde el drone	Antena + transceptor WiFi DJI
Procesar la información recibida para envío a las diferentes salidas	Hardware programado DJI
Visualizar la información de vídeo procesada en el módulo 1	Pantalla de dispositivo móvil

Nota: Determinación del equipo elegido para la constitución del prototipo para la Solución 1.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

La alternativa de solución S2 (rojo) se conforma de las soluciones mostradas en la tabla 20.

Tabla 20.
Alternativa de solución S2

Funciones	Soluciones
Soportar a los diferentes elementos electrónicos (circuitos, batería, botones, etc.)	Case (chasis)
Recibir información manual para el desplazamiento del drone	Periféricos de entrada
Recibir información de vídeo desde el drone	Modem WiFi USB + antena
Procesar la información recibida para envío a las diferentes salidas	Hardware-software especializado
Visualizar la información de vídeo procesada en el módulo 1	Pantalla de ordenador (PC)

Nota: Determinación del equipo elegido para la constitución del prototipo para la Solución 2.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8 Generación de la primera alternativa de solución

Para determinar la solución se aplica el Método Ordinal Corregido de Criterios ponderados aplicado a los tres criterios más importantes obtenidos del análisis a la "casa de la calidad" (Figura 5). Estos criterios son:

1. Precio
2. Tamaño de pantalla
3. Capacidad de la batería

Los criterios de relación dictados por la "casa de la calidad" se definen como:

Precio > Tamaño de Pantalla > Capacidad de la batería

Establecida la relación, se asigna el peso específico a cada criterio se establece la evaluación de los pesos como se muestra en la tabla 21.

Para todas las evaluaciones de pesos, las celdas marcadas con colores no se usan para el análisis.

Tabla 21.
Evaluación del peso específico asignado a cada criterio

Precio > Tamaño de Pantalla > Capacidad de la batería					
Criterio	**Precio**	**Tamaño de pantalla**	**Capacidad de la batería**	**∑+1**	**Ponderación**
Precio		1	0	2	0,40
Tamaño de pantalla	0		0	1	0,20
Capacidad de la batería	1	0		2	0,40
			SUMA	5	1

Nota: Evaluación general de los pesos específicos asignados a las características de diseño más importantes.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.1 Análisis del módulo 1

3.8.1.1 Evaluación de peso específico del criterio 'Precio'

Tabla 22.
Evaluación del criterio 'Precio' para el módulo 1

Solución 1 > Solución 2				
Precio	**Solución 1**	**Solución 2**	**∑+1**	**Ponderación**
Solución 1		1	2	0,67
Solución 2	0		1	0,33
		SUMA	3	1

Nota: Evaluación de las soluciones planteadas asociadas al criterio de diseño 'Peso' para la conformación del módulo 1 de la consola del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.1.2 Evaluación de peso específico del criterio 'Tamaño de pantalla'

Tabla 23.
Evaluación del criterio 'Tamaño de pantalla' para el módulo 1

Solución 2 > Solución 1				
Tamaño de pantalla	**Solución 1**	**Solución 2**	**∑+1**	**Ponderación**
Solución 1		0	1	0,33
Solución 2	1		2	0,67
		SUMA	3	1

Nota: Evaluación de las soluciones planteadas asociadas al criterio de diseño 'Tamaño de pantalla' para la conformación del módulo 1 de la consola del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.1.3 Evaluación de peso específico del criterio ‘Capacidad de batería’

Tabla 24.
Evaluación del criterio ‘Capacidad de la batería’ para el módulo 1

Solución 1 > Solución 2				
Capacidad de la batería	**Solución 1**	**Solución 2**	**∑+1**	**Ponderación**
Solución 1		1	2	0,67
Solución 2	0		1	0,33
		SUMA	3	1

Nota: Evaluación de las soluciones planteadas asociadas al criterio de diseño ‘Capacidad de batería’ para la conformación del módulo 1 de la consola del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.1.4 Conclusión de la evaluación de soluciones para el Módulo 1

Por los resultados obtenidos del análisis, la solución 1 se posiciona como la mejor alternativa frente a la solución 2 como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25.
Conclusiones para el módulo 1

Conclusión	**Precio**	**Tamaño de pantalla**	**Capacidad de la batería**	**∑+1**	**Prioridad**
Solución 1	*0,27*	*0,07*	*0,27*	*0,60*	*1*
Solución 2	0,13	0,13	0,13	0,40	2

Nota: Comparativa donde la solución 1 se impone sobre la solución 2 después de la evaluación de los pesos específicos.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Con la información obtenida se puede concluir que la mejor alternativa es la solución S1, la cual está conformada por:

- Caja plástica
- Joysticks/botones
- Antena + transceptor WiFi DJI
- Pantalla de dispositivo móvil

3.8.1.5 Modelo virtual de la solución S1

Modelo virtual de la solución S1 para la consola de operación del drone

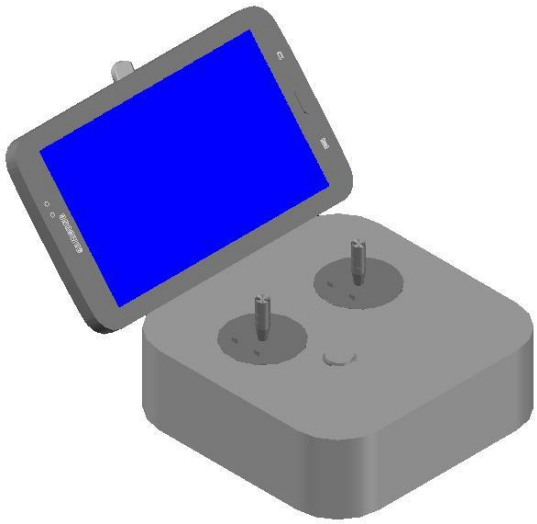


Figura 16. Modelo virtual en 3D de la solución S1 para la consola de operación del drone
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.1.6 Discusión y revisión de la primera alternativa solución S1

El problema general de controlar los desplazamientos de un drone por el aire se resuelve por medio del diseño de una consola que permita controlar estas acciones. Para ello se planteó dos alternativas de solución diferentes en cuanto al tipo de equipo y sus funciones. Para esto se aplicó el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados para seleccionar una alternativa afín a los criterios aplicado a los tres criterios más importantes obtenidos de la "casa de la calidad". Estos criterios se presentan orden de importancia y son:

1. Precio
2. Tamaño de pantalla
3. Capacidad de la batería

Después del análisis se determinó que la alternativa de solución S1 es la mejor opción de diseño de la consola de operación del drone. Los componentes principales de acuerdo a la función que ejecutan se detallan a continuación:

1. Contener los elementos de entrada de datos, batería, circuitos y antena en una caja plástica.
2. Transmitir las instrucciones para el desplazamiento del drone por medio de un transceptor.
3. Recibir los datos enviados desde el drone usando el mismo transceptor
4. Visualizar la imagen transmitida desde el drone por medio de un dispositivo móvil inteligente.

Al realizar la revisión del diseño, se puede observar que al usar elementos con funciones específicas se consigue cumplir con los propósitos de:

1. Facilidad de manejo
2. Rápida puesta en operación
3. Movilización sin complicaciones
4. Precio conveniente

Resta por definir la presentación final de la consola, tamaño y dispositivo conveniente, color, aditamentos adicionales; detalles que se encaminan a la comercialización y esos detalles le corresponden al área de mercadotécnica.

3.8.2 Análisis del módulo 2

3.8.2.1 Evaluación de peso específico del criterio 'Precio'

Tabla 26.
Evaluación del criterio 'Precio' para el módulo 2

Solución 1 > Solución 2				
Precio	**Solución 1**	**Solución 2**	**∑+1**	**Ponderación**
Solución 1		1	1,5	0,67
Solución 2	0		1,5	0,33
		SUMA	3	1

Nota: Evaluación de las soluciones planteadas asociadas al criterio de diseño 'Precio' para la conformación del módulo 2 de la consola del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Evaluación de peso específico del criterio ‘Tamaño de pantalla’

Tabla 27.
Evaluación del criterio ‘Tamaño de pantalla’ para el módulo 2

Solución 1 > Solución 2				
Tamaño de pantalla	**Solución 1**	**Solución 2**	**∑+1**	**Ponderación**
Solución 1		1	1,5	0,67
Solución 2	0		1,5	0,33
		SUMA	3	1

Nota: Evaluación de las soluciones planteadas asociadas al criterio de diseño ‘Tamaño de pantalla’ para la conformación del módulo 2 de la consola del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.2.2 Evaluación de peso específico del criterio ‘Capacidad de la batería’

Tabla 28.
Evaluación del criterio ‘Capacidad de la batería’ para el módulo 2

Solución 2 > Solución 1				
Capacidad de la batería	**Solución 1**	**Solución 2**	**∑+1**	**Ponderación**
Solución 1		0	2	0,33
Solución 2	1		1	0,67
		SUMA	3	1

Nota: Evaluación de las soluciones planteadas asociadas al criterio de diseño ‘Capacidad de la batería’ para la conformación del módulo 2 de la consola del drone.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.2.3 Conclusión de la evaluación de soluciones para el Módulo 2

La evaluación de las soluciones para el módulo 2 favorece a la solución 1 como se aprecia en la tabla 29.

Tabla 29.
Conclusiones para el módulo 2

Conclusión	Precio	Tamaño de pantalla	Capacidad de la batería	∑+1	Prioridad
Solución 1	*0,27*	*0,13*	*0,13*	*0,53*	***1***
Solución 2	0,13	0,07	0,27	0,47	**2**

Nota: Comparativa donde la solución 1 se impone sobre la solución 2 después de la evaluación de los pesos específicos.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.2.4 Modelo virtual del módulo 2

Modelo virtual de la solución S2 para la consola de operación del drone

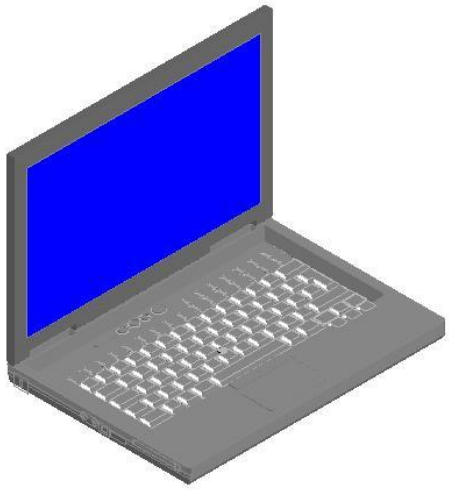


Figura 17. Modelo virtual en 3D de la solución S2 para la consola de operación del drone
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.8.2.5 Discusión y revisión de la segunda alternativa de solución S2

El problema general de controlar los desplazamientos de un dron por el aire se resuelve por medio del diseño de una consola que permita controlar estas acciones. Para ello se planteó dos alternativas de solución diferentes en cuanto al tipo de equipo y sus funciones. Para esto se aplicó el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados para seleccionar una alternativa afín a los criterios aplicado a los tres criterios más importantes obtenidos de la "casa de la calidad". Estos criterios se presentan orden de importancia y son:

1. Precio
2. Tamaño de pantalla
3. Capacidad de la batería

Los componentes principales de la alternativa de solución S2 de acuerdo a la función que realizan se explican a continuación:

1. Contener los elementos de entrada de datos, batería, circuitos y antena en un case.

2. Enviar los datos de manejo del drone por medio de una tarjeta de red o modem WiFi.

3. Emplear la misma tarjeta de red para recibir la información desde el drone.

4. Visualizar los datos enviados desde el drone en un monitor convencional de PC.

Esta opción genera un costo mayor de implementación dado se requiere hardware adicional al contenido por un computador completo, se requiere de un modem especial CAN que enlaza el computador y un transmisor WiFi cuyo precio sobrepasa la base de trabajo establecida en la Casa de la Calidad.

3.9 Implementación de hardware

Los principales componentes de la consola de manejo son los siguientes.

3.9.1 Caja base

Caja base – dimensiones generales

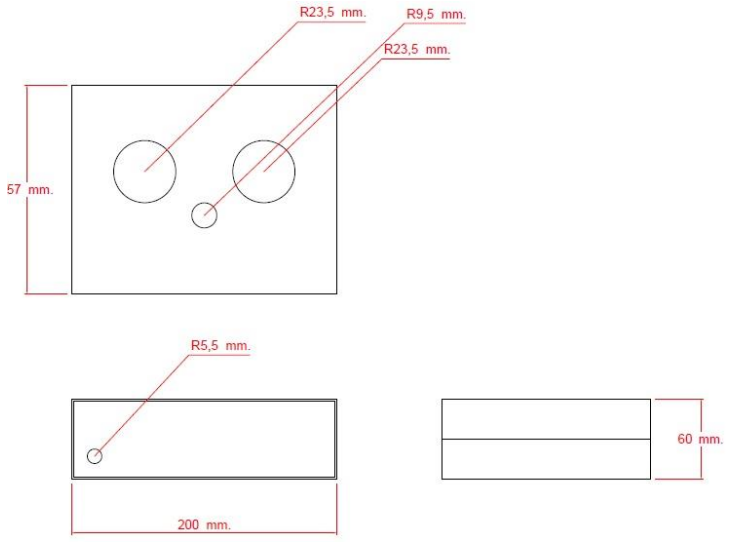


Figura 18. Dimensiones generales de a la caja plástica contenedora de los elementos
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta caja es la base de trabajo del prototipo, su constitución es de material plástico rígido para tener una base ligera y fuerte en la cual se colocarán los circuitos. Se realizaron tres cortes circulares en la parte superior de la caja, dos para introducir y

sujetar los joysticks. El corte restante para ubicar el botón de encendido. En el interior se ubican las placas electrónicas y la batería de alimentación de los circuitos.

La parte frontal tiene un orificio para la colocación de la toma de alimentación externa y la parte trasera de la caja sirve de base para la colocación de las antenas y el puerto de salida hacia la pantalla.

El uso de este tipo de caja plática se liga al criterio de diseño “Precio” obtenido del desarrollo de la función de calidad ya que su bajo costo de adquisición (precio referencial de USD 15,00) permite su rápida adquisición, reemplazo o adecuación.

3.9.2 Base de pantalla (soporte parte 1)

Soporte de pantalla (parte 1) – Medidas generales

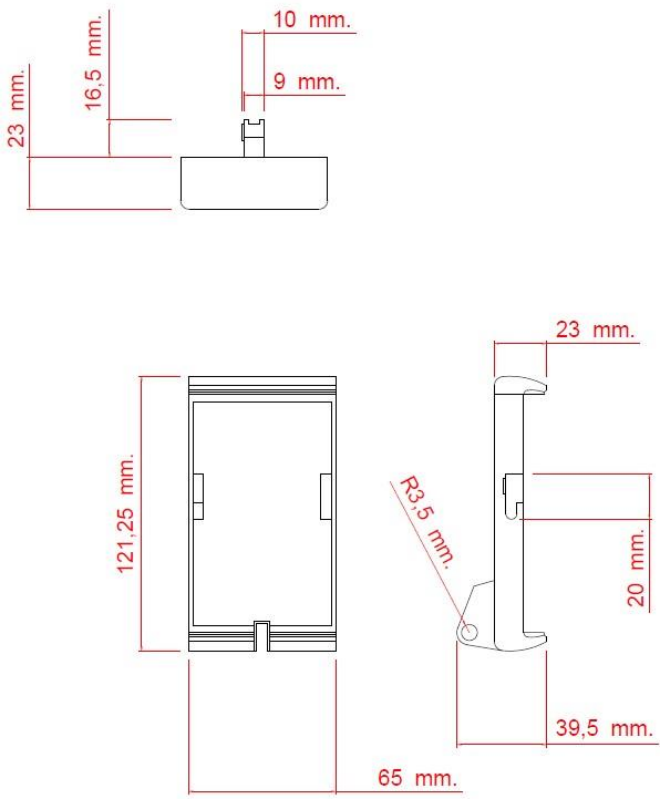


Figura 19. Medidas generales del soporte sujetador de pantalla de la consola
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta parte del prototipo es la base en la que se ubica la pantalla para la visualización de la imagen desde el drone. El soporte se expande verticalmente desde los 9.7 cm hasta 17 cm. además para colocar dispositivos con pantallas desde 3 pulgadas hasta dispositivos de 9 pulgadas (en este último dependiendo si los márgenes entre pantalla

y bordes no son muy grandes. Y también posee una base intermedia a 4.8 cm. para ubicar dispositivos con pantallas de tamaño inferiores a 7 pulgadas con un límite de 3 pulgadas. En conjunto con el soporte parte 2, le otorgan al soporte completo 1 grado de libertad de movimiento (θ) de aprox. 5º≤ θ ≤185º desde el centro hacia los extremos superior, inferior, izquierdo y derecho.

3.9.3 Soporte de base (soporte parte 2)

Soporte de pantalla (parte 2) – Medidas generales

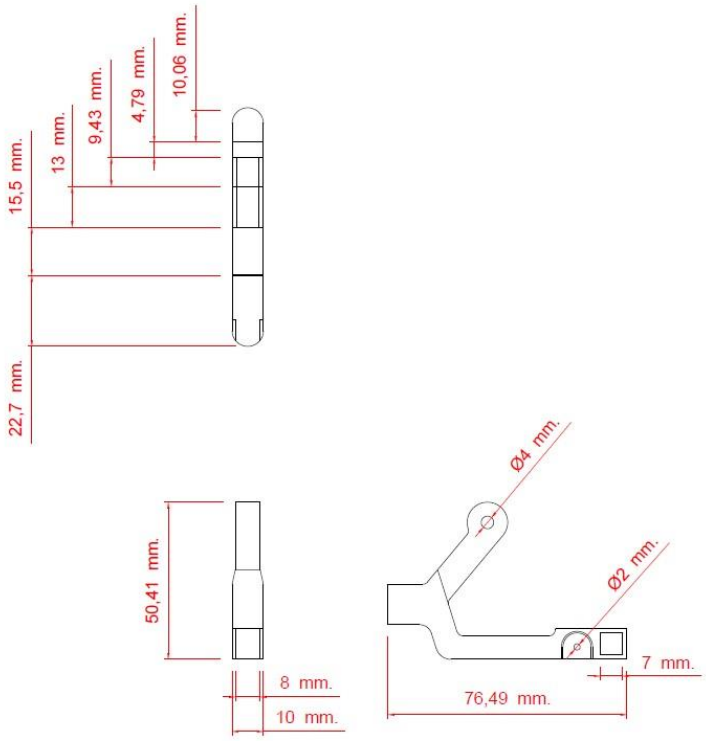


Figura 20. Medidas generales de la base del soporte de pantalla de la consola
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta parte del soporte sostiene la base de la pantalla (soporte parte 1) y se fija con la caja base para unificar las partes para un uso en conjunto y le otorga movilidad al soporte con pantalla en un sólo eje para que la pantalla se pueda ajustar el ángulo de visión que el usuario crea conveniente. Su material de constitución es plástico.

En conjunto con el soporte parte 1, el soporte completo tiene 1 grado de libertad de movimiento (θ) de aprox. 5º≤ θ ≤185º

El uso de soportes en conjunto con posibilidad de expansión para que se pueda utilizar un dispositivo móvil inteligente como pantalla de la consola, permite que se pueda usar equipos de diferentes gamas, precios, y tamaños, lo cual incide directamente en el aspecto "PRECIO" que es uno de los principales condicionantes en la definición de las características técnicas en vista de que su precio referencial de USD 35,00 y su capacidad de para admitir pantallas de diferentes tamaños (de 4 a 9 pulgadas) resulta conveniente en la constitución de la consola.

3.9.4 Antena

Antena – Medidas generales

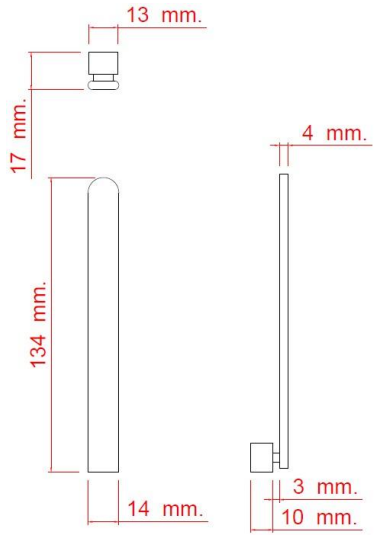


Figura 21. Medidas generales de una antena de emisión/recepción.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Las antenas omnidireccionales de 20 dBm - 16 dBm cada una, permiten la transmisión de las instrucciones de manejo desde la consola hacia el drone y a su vez, reciben la información de vídeo desde el drone para la visualización en pantalla. Estas antenas poseen un eje ajustable que le otorgan movimiento en un solo eje con un rango de movilidad θ entre $0º \leq \theta \leq 90º$ para inclinarlas y de esta forma posicionarlas de la manera más conveniente para la transmisión/recepción de información.

El uso de estas antenas y su potencia de transmisión de entre 40 mW a 100 mW asegura que se obtendrá el alcance distancia deseado de 1 Km. y de esta forma cumplir con el parámetro "Distancia de manejo" obtenido como una de las principales características de diseño de la consola en el desarrollo de la función de calidad.

3.9.5 Fuente de alimentación

Fuente de alimentación / carga

Figura 22. Fuente de alimentación para la consola de operación del drone.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta fuente de alimentación se conecta a un tomacorriente convencional de 110 – 220 V_{AC} y posee un regulador de voltaje para una salida de 17.4 V_{DC} a 3.3 A. para proveer de energía a la tarjeta de control y cargar a la batería. Que alimenta a los componentes electrónicos.

Esta fuente tiene una extensión aproximada de 2.20 m. desde el conector NEMA 1-15 no polarizado hasta el conector RCA que se conecta a la parte externa de la consola.

Se emplea esta fuente de alimentación porque sus valores de salida de 17.4 V_{DC}-3.3 A. incide directamente en el aspecto "Capacidad de batería" de las características de diseño de la consola en vista de que permite la adecuada carga de la batería.

3.9.6 Joystick

Joysticks de manejo

Figura 23. Joystick analógico de 2 ejes con potenciómetros de 10kΩ.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Estos mandos tienen dos potenciómetros de 10 kΩ a $5V_{DC}$ y se encargan de transmitir las instrucciones del operador a la tarjeta de control para ser procesadas y transmitidas hacia el drone y realizar los desplazamientos.

Estos joysticks tienen dos grados de libertad con un rango de movimiento aproximado de 40º desde el centro hacia la parte superior, inferior, derecha e izquierda. Sus dimensiones generales son 55 mm. de altura y 63 mm. de anchura y profundidad.

El uso de estos joysticks está ligado al aspecto "Precio" ya que su costo moderado de aproximadamente USD 50,00 y su conveniencia de uso facilita su adquisición e implementación en la consola.

3.9.7 Batería

Batería recargable de alimentación

Figura 24. Batería recargable de alimentación para los elementos electrónicos de la consola (excepto de la pantalla)
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta batería LiPo 2S recargable con capacidad de 6000 mAh alimenta a todos los elementos de la consola con 7.4 V_{DC} Por su capacidad probada, esta batería tiene una duración de dos horas y media de uso y opera en temperaturas desde 0º C hasta 40º C. Finalizada la sesión de uso (completa) la batería debe ser recargada por un lapso de dos horas.

Las dimensiones generales del cuerpo de batería son 48 mm de altura, 118 mm de ancho y 15 mm de profundidad.

La aplicación de una batería con una alta capacidad de 6000 mAh permite tener una gran certeza de que el factor "Capacidad de batería" cumple con un condicionante importante que es la autonomía en la operación de la consola y esta batería le otorga una autonomía de operación superior al tiempo establecido de 25 minutos.

3.9.8 Tarjeta de control

Tarjeta de control

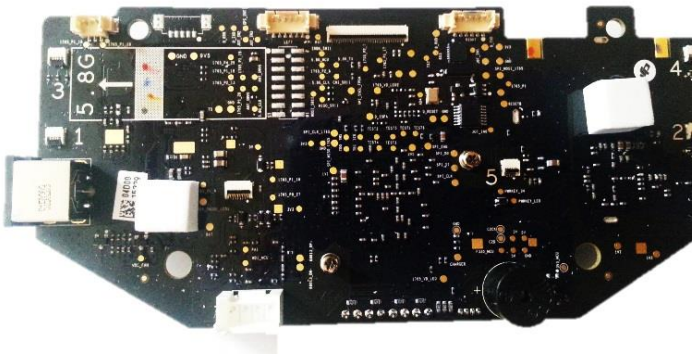


Figura 25. Tarjeta de control con emisor/receptor integrado.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta placa tienes dos funciones principales; la primera es recibir y procesar las instrucciones de manejo emitidas por el operador por medio de los joysticks, la segunda función importante es la de un transceptor, es decir emitir las instrucciones de desplazamiento mediante su transmisor y recibir la información de imagen desde el drone para emitirla hacia la tarjeta de comunicación para la salida hacia la pantalla.

El transceptor de esta tarjeta funciona opera a 7.4 V_{DC} – 1.2 A. y emite ondas electromagnéticas a 2.4 GHz - 2.483 GHz. La potencia del transmisor es de 20 dBm - 16 dBm y esta tarjeta de control opera en temperaturas desde 0º C hasta 40º C.

Las dimensiones generales de esta tarjeta son 13 mm. De alto (tomando como referencia el elemento más sobresaliente), 145 mm. de ancho y 66 mm. de profundidad.

Las propiedades de esta tarjeta con su módulo de emisión/recepción integrado, posibilidad de emplear dos antenas, la inclusión de otros elementos como los joysticks además de su reducido tamaño se encuentra ligado a los criterios de diseño “Peso” y “Precio”, ya que la tarjeta integra varias tecnologías como son regulación de voltaje en DC (para elementos de bajo consumo como joysticks y zumbador), transmisor de RF, receptor de RF; y que la integración de estos elementos por separado en un mismo equipo repercutiría en el tamaño, proporciones y por ende en el peso y costo del equipo.

A continuación, se muestra en la figura 27, un esquema general en bloques de las principales funciones de la placa de control de la consola.

Esquema general de bloques funcionales de la tarjeta de control

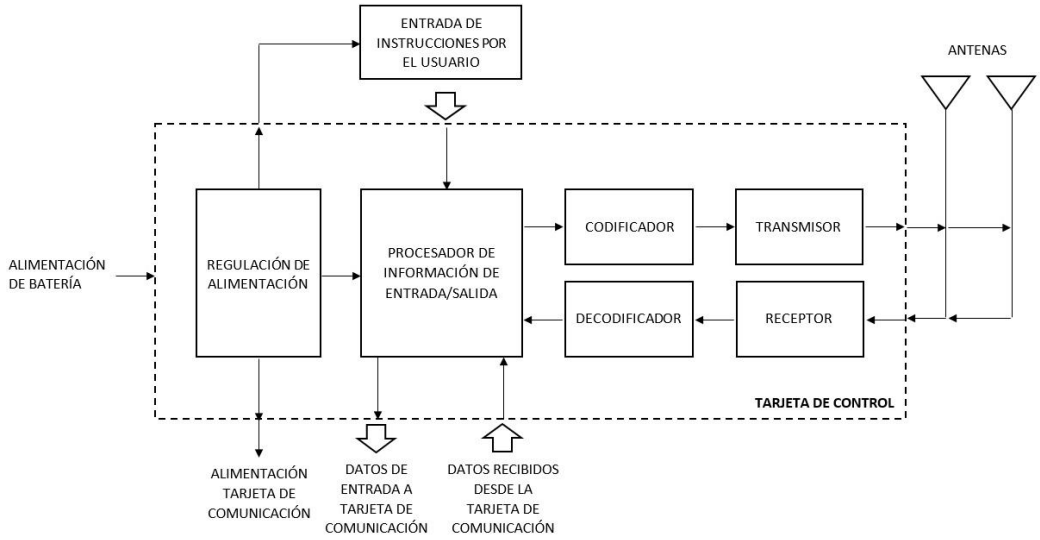


Figura 26. Esquema general de bloques funcionales de la tarjeta de control de la consola del drone.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

3.9.9 Tarjeta de comunicación

Tarjeta de comunicación

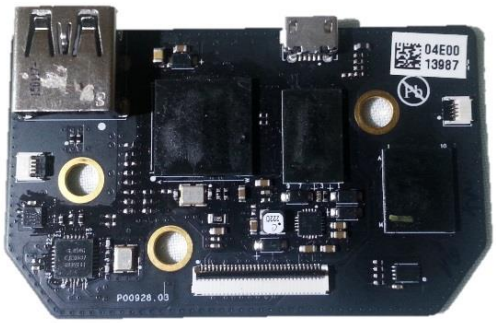


Figura 27. Tarjeta de comunicación para comunicar el mando del drone con la pantalla de visualización.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Esta tarjeta tiene como propósito el comunicarse con la tarjeta de control y con la pantalla de visualización para el intercambio de información. Posee dos puertos de salida, un puerto USB 2.0 convencional y un puerto MicroUSB, ambos puertos de salida no pueden operar simultáneamente. Esta tarjeta opera en un rango de

temperatura de 0º C hasta los 40º C. Las medidas generales de esta tarjeta son 4 mm. (Con referencia al elemento que sobresale más), 65 mm. de ancho y 40 mm. de profundidad.

El costo moderado, fácil montaje y sus puertos de comunicación estándar para conectar el dispositivo móvil de pantalla permiten ubicar a este componente con el factor "Precio" de las características de diseño para la consola del drone por USD 93,00 en su costo de adquisición.

En la figura 29 se señala un esquema general en bloques de las principales funciones de la placa de comunicación hacia la pantalla de la consola.

Esquema general de bloques funcionales de la tarjeta de comunicación

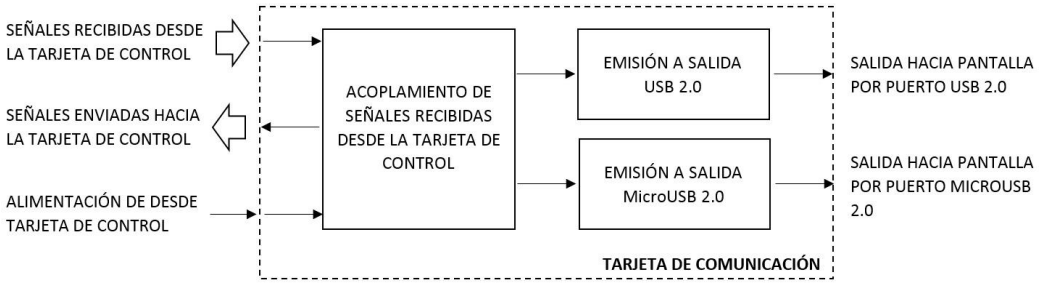


Figura 28. Esquema general de bloques funcionales de la tarjeta de comunicación de la consola.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Este prototipo de la consola permite asociarse a drones de la familia PHANTOM 3 producidos por DJI.

3.10 DESPIECE DE LA CONSOLA

En la figura 30 se muestra el despiece de la consola en sus componentes principales.

Despiece de la consola en sus elementos principales

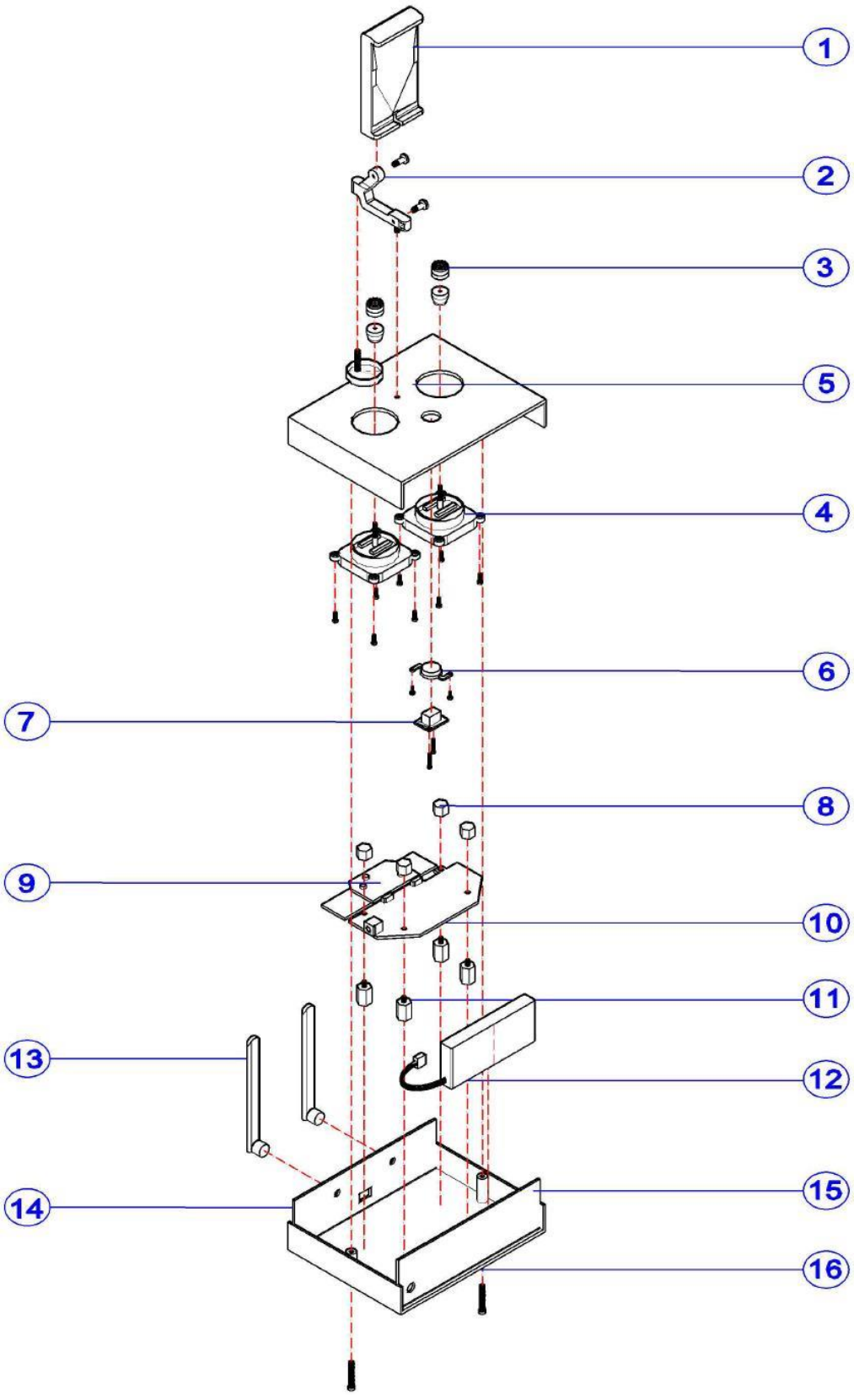


Figura 29. Despiece de la consola de manejo del drone en sus elementos principales (sin pantalla).
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

Tabla 30.
Elementos principales que componen la consola indicada en el despiece

No.	Elemento
1	Base de pantalla (soporte parte 1)
2	Soporte de base (soporte parte 2)
3	Cobertores de palancas
4	Caja base (parte superior)
5	Joystick de manejo
6	Botón de encendido con soporte para fijación en base
7	Botón pulsador de encendido
8	Soportes hexagonales pequeños
9	Placa de comunicación
10	Placa de control
11	Soportes hexagonales medianos
12	Batería recargable
13	Antena
14	Caja base (parte anterior)
15	Caja base (parte posterior)
16	Caja base (parte inferior)

Nota: Listado de elementos generales que constituyen el prototipo de la consola.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

CAPÍTULO 4.
PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Procedimiento de puesta en marcha de la consola

Para indicar los pasos a seguirse para la puesta en marcha de la consola, se expone el siguiente listado resumen para este propósito. Para mayores detalles de la operación se debe efectuar la lectura del archivo con nombre y extensión Upsptdrone-Procedimiento_de_Operacion en el Anexo 4.

1. Las condiciones ambientales deben ser ideales como se indica en el manual de operación
2. No deben existir restricciones de operación la zona.
3. La batería de la consola y pantalla deben estar cargadas.
4. Colocar las antenas en la posición correcta
5. Ubicar a la consola y operador a una distancia de seguridad mínima de 2.5 metros del drone.
6. Encender la consola.
7. Encender el dispositivo pantalla.
8. Ingresar a la aplicación de manejo.
9. Verificar que existe la transmisión de imagen desde el drone hacia la pantalla de la consola.
10. Realizar el procedimiento de despegue del drone.
11. Registrar las actividades en fotografías o vídeo según requiera el operador con la aplicación en la pantalla.
12. Finalizada la actividad, realizar el procedimiento de aterrizaje.
13. Apagar la consola y pantalla.

4.2 Esquema de operación de la consola

Para la operación de la consola de operación del drone, el operador debe seguir el siguiente esquema:

Diagrama de flujo de operación para la consola

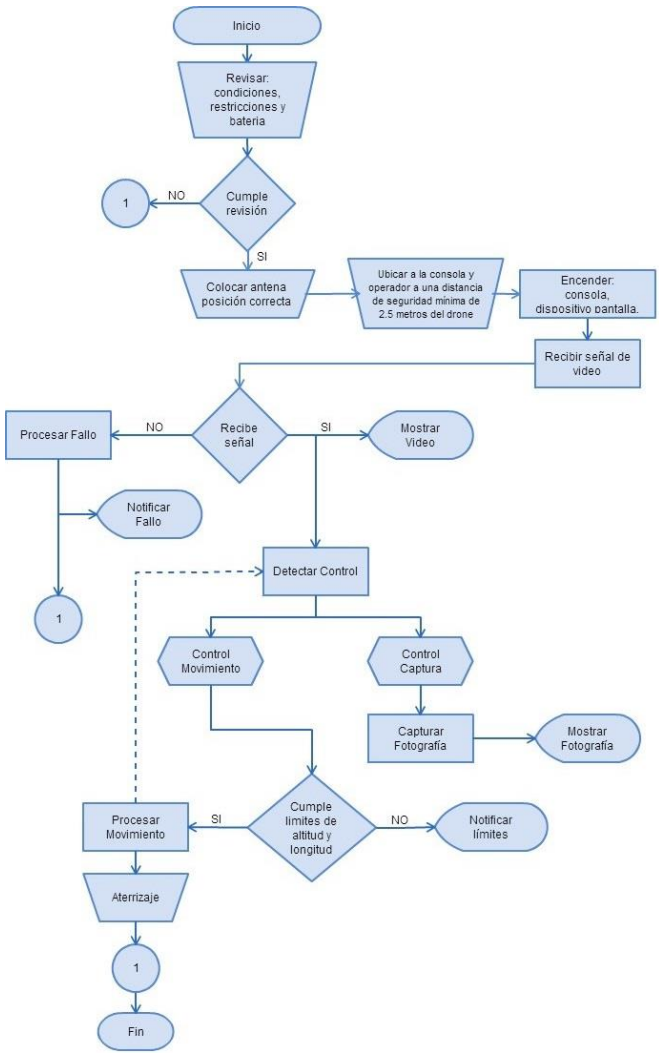


Figura 30. Diagrama de flujo donde se describe la operación de la consola del drone.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

El registro de pruebas consiste en dos pruebas para adquirir registros fotográficos y de vídeo en lugares de concurrencia masiva. Cada prueba tiene su planteamiento inicial el cual indica el propósito de la realización de la prueba. El detalle de cada prueba se enuncia a continuación.

4.3 Prueba 1 – registro fotográfico

Evento

Paro Nacional – Movilización de agrupaciones pertenecientes a la CONAIE y ECUARUNARI hacia Quito para las manifestaciones en contra de gobierno del Presidente de la República, Econ. Rafael Correa.

Planteamiento de la prueba

Para esta prueba se plantea el uso del drone para el registro fotográfico del sitio de concurrencia para tener una perspectiva aérea del lugar y de los asistentes momentos previos a la gran concentración y posterior movilización.

Descripción

Dado que el tenso clima social y político se mantiene por parte del poder ejecutivo, con respecto a las enmiendas constitucionales, a leyes que afectan directamente en la economía de los ecuatorianos, a la falta de diálogos y acuerdos con organizaciones políticas y sociales no alineadas al gobierno, al sometimiento de los poderes legislativo y judicial ante el ejecutivo, al poco respeto en expresiones públicas por el presidente y su cúpula de trabajo; diferentes pueblos indígenas del Ecuador adheridos a los movimientos indígenas más importantes de la nación, como lo son la CONAIE y ECUARUNARI decidieron organizar un Paro Nacional para el 13 de Agosto de 2015, fecha en que se tenía prevista la llegada de agrupaciones indígenas conformadas de miles de ciudadanos. El principal grupo partió el 02 de Agosto desde Tundayme, provincia de Zamora Chinchipe y con destino final, la ciudad capital, Quito.

El punto de encuentro fue el Parque del Arbolito, y desde allí se dirigieron de forma masiva hacia la Plaza de Santo Domingo. Este lugar fue el destinado para el arribo final de los marchantes quienes tomaron la Av. Tarqui hasta alcanzar la Av. 10 de Agosto e ingresar a la calle Guayaquil para culminar en la plaza. Las calles transversales desde la calle Guayaquil fueron cerradas y cercadas por efectivos de la Policía Nacional y fuerzas militares quienes tenían como objetivo, el anular el paso de los manifestantes por diferentes calles que tengan acceso hasta el Palacio de Carondelet.

Información registrada

Se capturó la fotografía indicada en la figura 32 la cual, por obvios motivos, se almacena en el mismo drone en una memoria externa MicroSD HC 16GB para que la información guardada pueda ser visualizada y/o guardada en otros equipos.

Fotografía capturada en la prueba de vuelo

Figura 31. Fotografía aérea capturada en la prueba de vuelo sobre el parque El Arbolito.
Fuente: Anexo 3 - Ptupsdrone-reg_fot.xlsx - Foto 5

Datos de la fotografía

La prueba de incursión en vuelo registra generó diferentes archivos de los que se expone uno y los detalles del archivo se muestran en la tabla 31.

Tabla 31.
Datos del archivo fotográfico registrado en la prueba

Modelo de la cámara:	DJI FC300S
Fecha de captura:	13/08/2015
Hora:	15:17
Nombre:	DJI_0002
Extensión:	*.JPG
Tipo:	IMAGEN DIGITAL EN COLOR - 24 BITS
Dimensiones:	4000 x 3000 pixels
Altura de captura:	66.5 metros
Tamaño del archivo:	4.85 MB

Nota: Detalles generales del archivo fotográfico registrado durante las pruebas de la consola.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Comentarios de la prueba de registro fotográfico

La prueba en campo del adecuado funcionamiento para el registro fotográfico de la actividad permitió establecer las siguientes observaciones y comentarios para esta actividad.

1. La cantidad de luz ambiente del sol afecta directamente con la visualización de la pantalla.

2. Las corrientes de viento a la altura que se realizó la prueba afectaban en la estabilidad del equipo en el aire.

3. Por el lugar y circunstancia del evento, se registraron problemas que pusieron en peligro la integridad del operador ya que pese a haber obtenido los respectivos permisos de las autoridades indígenas para realizar la prueba en este lugar, los asistentes a la convocatoria para la reunión y marcha interpretaron que esto se trataba de espionaje a sus actividades y comunicaciones. Y estas personas pasaron por encima del personal designado por Pedro Tankamish (autoridad indígena) para tratar de arrebatar y destruir la consola y el drone además de agredir física y verbalmente al operador.

4. Por este motivo antes expuesto, la prueba tuvo una duración de 10 minutos, tiempo en el cual sólo se sobrevoló el área del parque y bajo la estricta vigilancia del personal de seguridad quienes miraban cada uno de los movimientos y actividades del operador.

4.4 Prueba 2 – registro de vídeo

Evento

Encuentro deportivo entre Liga Deportiva Universitaria de Quito y Sociedad Deportiva Aucas – Fecha 21 de la Copa Pilsener 2015 Serie A

Planteamiento de la prueba

Se plantea esta prueba para el registro en vídeo de la zona externa nororiental del estadio Casa Blanca de Liga Deportiva Universitaria de Quito momentos previos al encuentro futbolístico.

Descripción

Un lugar de gran concurrencia es el Estadio de Liga Deportiva Universitaria de Quito y por tener este precedente del lugar mencionado, se empleó el drone y la consola para el registro en vídeo de los momentos previos al inicio del cotejo entre L.D.U. – Q. y S.D. AUCAS, partido disputado por ambos equipos como parte de la Copa Pilsener 2015 Serie A Ecuador – Fecha 21. Se realizaron las respectivas averiguaciones para solicitar a Ing. Juan Carlos Larco, Coordinador del Estadio de Liga Deportiva Universitaria de Quito la autorización para usar el drone desde la cancha o desde el interior del estadio pero el resultado fue una negativa por parte de las autoridades ya que manifestaron que sólo las empresas de televisión pueden sobrevolar con sus drones y cámaras en el interior, esto se debe a los diferentes acuerdos y derechos de filmación y transmisión que maneja Liga Deportiva Universitaria.

Información registrada

Se realizó la filmación de un vídeo cuya captura referencial de fotogramas se muestra en la figura 33. El vídeo se guardó en una memoria externa MicroSD HC 16GB para su posterior revisión y/o almacenamiento en otros equipos.

Fotogramas referenciales del registro de vídeo

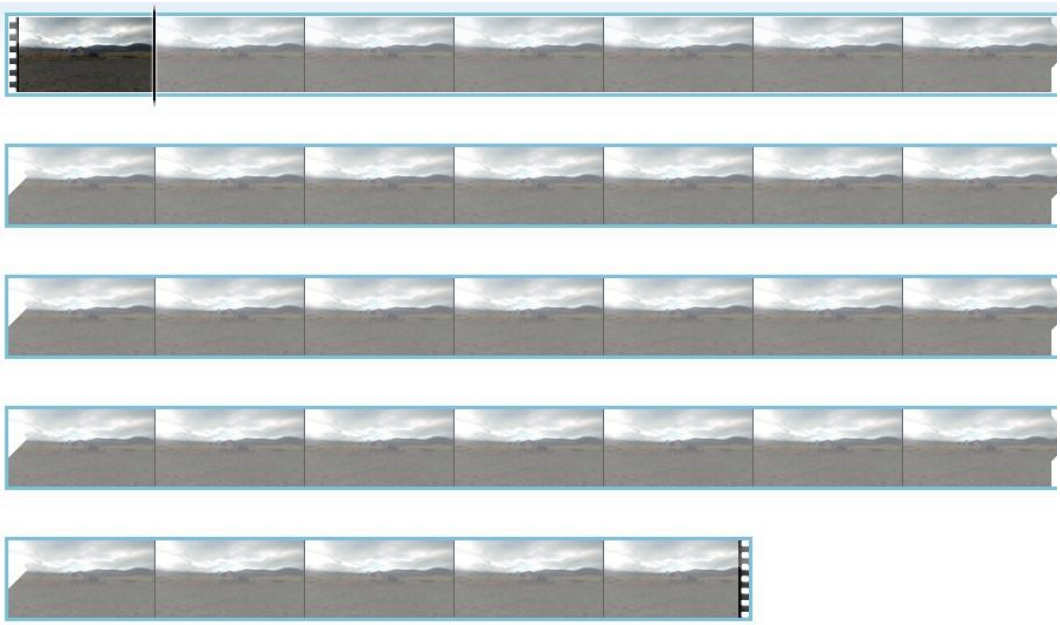


Figura 32. Fotogramas referenciales del registro de vídeo del sobrevuelo en el Estadio Casa Blanca.
Fuente: Anexo 3 - Ptupsdrone-reg_vid.xlsx - Video 3

Datos del vídeo

La prueba de incursión en vuelo registró un archivo de vídeo cuyos se muestran en la tabla 32.

Tabla 32.
Datos del archivo de vídeo registrado en la prueba

Modelo de la cámara:	DJI FC300S
Fecha de grabación:	04/07/2015
Hora:	18:07
Nombre:	DJI_0001
Extensión:	*.MOV
Duración:	0:14:01
Dimensiones:	1920 x 1080 pixels
Velocidad del fotograma:	59 fotogramas por segundo
Tamaño del archivo:	3.91 GB

Nota: Detalles generales del archivo de vídeo registrado durante las pruebas de la consola.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

Comentarios de la prueba de registro fotográfico

La prueba del registro en vídeo de la actividad previa al cotejo permitió obtener las siguientes observaciones y comentarios.

1. La luz ambiente a la hora del registro no afectó la visualización de la pantalla de la consola.

2. Las condiciones ambientales sin nubosidad o altos índices de humedad fueron propicias para la realización de la filmación.

3. La incursión en vuelo un tanto arriesgada en el interior del estadio provocó que los agentes de seguridad notificaran de esta actividad al personal de seguridad y agentes del orden, por lo que aproximadamente a los diez minutos de vuelo agentes de policía lograron ubicar al operador del drone para solicitar explicaciones del uso y el cese de la actividad y por tal se concluyó el registro con una duración de 14:01 minutos.

4. Hubo un momento en que la consola perdió comunicación con el drone por la inestabilidad de la aplicación en el dispositivo pantalla al iniciar la prueba. El mensaje de cierre inesperado se muestra en la figura 34.

Mensaje de problema en pantalla de la consola

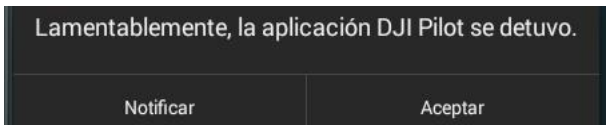


Figura 33. Mensaje de problema en pantalla de la consola durante una prueba.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

5. La comunicación pudo reestablecerse al cabo de aproximadamente 3 minutos después de ocurrido el problema.

4.5 Procedimiento para recuperación de la información

Para la recuperación y registro de la información obtenida de la actividad con el drone y la consola se optó por la primera opción de registro de las dos disponibles que funcionan en simultáneo en la operación del drone y la consola.

Estos modos de operación son:

1. Inserción/extracción de tarjeta memoria externa.

2. Almacenamiento en la consola.

4.5.1 Inserción/extracción de tarjeta memoria externa

La información registrada en fotografía o vídeo se almacena en una memoria MicroSD en el drone. Este medio es el ideal para obtener fotografías y vídeo de alta resolución y una imagen de buena calidad ya que la información registrada por la cámara se almacena en la memoria extraíble del mismo equipo.

El procedimiento para adquirir la información en este medio se detalla a continuación y bajo el entendimiento de que el drone se encuentra apagado después de haber completado la incursión en vuelo.

1. Insertar la memoria MicroSD clase 4 o 10 de hasta 64 GB en la ranura del drone antes del despegue.

2. Enviar la instrucción de captura fotográfica o de vídeo desde la consola durante la actividad con el drone.

3. Extraer la memoria del drone cuando se haya finalizado la actividad.

4. Colocar la memoria en un dispositivo móvil o un lector de memorias para computador.

5. Verificar la información en la memoria y almacenarla en el disco duro del computador, en la memoria de almacenamiento interno del dispositivo móvil o en la nube.

4.5.2 Almacenamiento en la consola

La información en fotografía o vídeo de la actividad realizada con el drone se almacena directamente en la memoria interna del dispositivo móvil empleado como pantalla. El procedimiento para adquirir la información en este dispositivo se detalla a continuación y bajo el entendimiento de que el drone se encuentra en operación.

1. Poner en marcha el drone.

2. Poner en operación a la consola.

3. Ejecutar la instrucción de captura fotográfica o de vídeo desde la consola durante la actividad con el drone.

4. Salir de la aplicación en pantalla una vez finalizada la actividad con el drone.

5. Ingresar al apartado de GALERÍA donde se almacenan todo tipo de imágenes y vídeos en el dispositivo móvil.

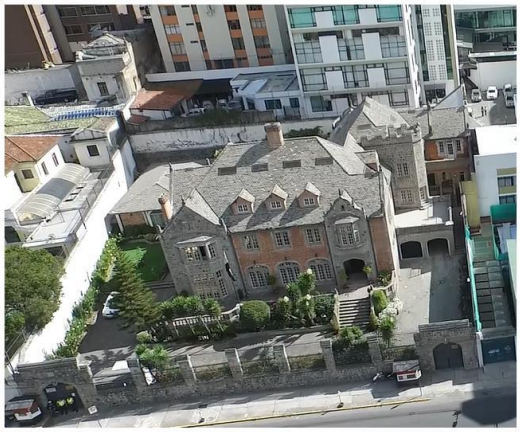
6. Ubicar la carpeta DJI y acceder a los archivos registrados.

4.6 Análisis de los resultados

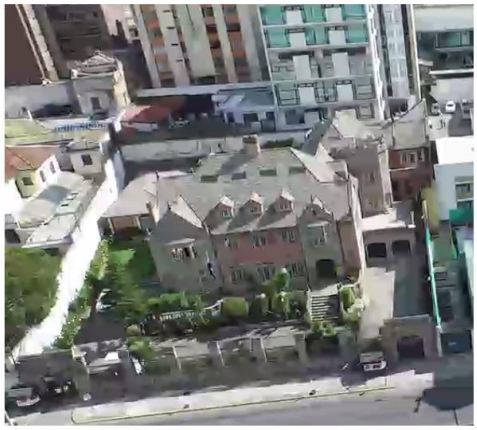
- Las pruebas y resultados del uso de la consola para la operación del drone en el registro fotográfico y de vídeo de actividades en diversos sitios de concurrencia masiva fue satisfactorio pese a que en ciertas ocasiones la inestabilidad de la aplicación de manejo en pantalla tiene cierres inesperados y se pierde la comunicación visual, mas no el control sobre el drone.

- El resultado de la adquisición de la información de las dos formas ya mencionadas permite notar que la calidad de la fotografía y vídeo se ve reducida en su resolución en pantalla y en calidad dependiendo del procedimiento por el que opte el operador para la recuperación de la información. Para aclarar esta diferencia se muestra en la figura 35 una muestra de dos escenas de un mismo punto en particular registrados durante la operación del drone y la consola.

Comparativa de los resultados en consola y drone



Fotografía en memoria externa
Alta calidad



Fotografía en consola
Baja calidad

Figura 34. Comparativa lado a lado de los resultados obtenidos del registro y almacenamiento fotográfico
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

- Durante el transcurso del tiempo en las pruebas en los diferentes lugares elegidos se esperó llevar a cabo una prueba que ponga al límite la duración de la batería del drone y la consola, pero diferentes circunstancias obligaron al operador a terminar con las operaciones para salvaguardar su integridad y la del equipo.

- Durante la realización de la prueba final, el drone sufrió percance que culminó en su precipitación al suelo durante su incursión en vuelo. Este percance no se debió a un mal funcionamiento de la consola, sino al desprendimiento de una hélice por el desgaste que sufrió la parte interna del eje donde se realiza el ajuste con el tornillo base fijado al motor.

Hélice desgastada por el uso

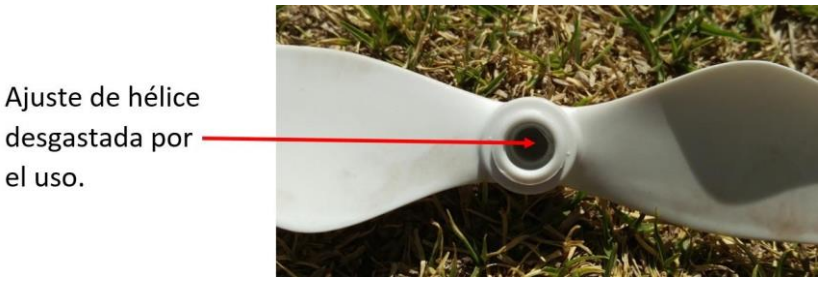


Figura 35. Hélice desgastada por el uso
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

- Después del percance, se pudo constatar que la caída afectó gravemente al drone, del cual una hélice se rompió y su cámara también dejó de funcionar al romperse el soporte y los buses de comunicación. Además, varios circuitos internos y partes móviles del drone resultaron afectados con la caía de aproximadamente 2.5 metros de altura. El equipo no pudo ser vuelto a habilitar ya que los múltiples daños sufridos impiden su puesta en marcha. La consola de operación de la consola se mantiene activa ya que esta parte no sufrió ningún daño. En la figura 37 se evidencia el estado del equipo después de la caída.

Drone después de la caída tras el desprendimiento de una de sus hélices

Figura 36. Drone después de la caída tras el desprendimiento de una de sus hélices después de una prueba.
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

- Para evitar este tipo de problemas con equipos similares, se plantea el uso de hélices cuya construcción esté realizada con materiales de alta calidad y que estas hélices no sean retiradas del drone una vez que se hayan fijado al cuerpo de la aeronave.

- Para minimizar el efecto de la caída de este tipo de equipos, se podría implementar un sistema de emergencia activado de forma remota el cual despliegue un paracaídas que ayude a frenar caída de la aeronave hacia el suelo.

4.7 Costos

Los costos referenciales de la implementación del prototipo se detallan en la tabla 33.

Tabla 33.
Tabla de costos referenciales de la consola

Item	Cantidad	Costo aproximado unitario (USD)	Costo referencial (USD)
Tarjeta de control	1	120,00	120,00
Tarjeta de comunicación	1	93,00	93,00
Antena	2	40,00	80,00
Batería	1	70,00	70,00
Joystick	2	25,00	50,00
Soporte	1	35,00	35,00
Fuente de alimentación	1	25,00	25,00
Caja	1	15,00	15,00
Pantalla	1	180,00	180,00
Otros gastos	1	150,00	150,00
		Total Aproximado	818,00

Nota: Detalle general de costos de implementación de la consola.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

La implementación de la consola presenta un precio esperado entre 700 a 1000 dólares como se determinó en el despliegue de la función de calidad, sin embargo, su precio resulta elevado en comparación a la oferta disponible en el mercado como se aprecia en la tabla 34. Esta diferencia de precios obedece a que siempre resulta más caro la producción de un único elemento a la producción en serie que se realiza en la industria y considerando que estos productores añaden más funcionalidades a este tipo de equipos.

Tabla 34.
Tabla de precios referenciales para una consola de drone

Elemento	Productor / Comercializador	Precio (USD)
Mando	AMAZON	449,00*
	DJI	590,00*
	Ejecutores proyecto UPS	818,00
El símbolo * indica que estos precios se muestran al público de forma global (internacional) pero no incluyen impuestos de ley y estos precios pueden variar en función de envíos y tasas arancelarias en cada país		

Nota: Detalle general de costos de la oferta en el mercado y de implementación de la consola.

Elaborado por: Danny Pichucho y Richard Chagna

En la figura 38 se muestra de forma gráfica la representación de los costos para la consola de un drone.

Gráfico de representación de costos referenciales para la consola de drone

Figura 37. Gráfico de representación de costos referenciales para la consola de drone prototipo ensamblada
Fuente: Danny Pichucho y Richard Chagna

CONCLUSIONES

- El diseño e implementación de la consola de operación del drone a partir del establecimiento de las especificaciones técnicas permite realizar la adquisición de información fotográfica y de video en sitios de concurrencia masiva localizada al aire libre.

- De la investigación de las condiciones de operación del equipo se estableció el escenario que da inicio a la etapa de diseño conceptual con la finalidad de cumplir las especificaciones técnicas mínimas de implementación y empezar con la construcción del prototipo de la consola en base a las características del equipo.

- El prototipo desarrollado cumple con las características técnicas del QFD (Despliegue de la Función de Calidad), con lo que satisface las especificaciones de diseño.

- El registro de la información fotográfica y de vídeo permite almacenar la información en dos medios diferentes de forma simultánea, en consola y en un dispositivo de almacenamiento masivo extraíble en la aeronave, con lo que al contrastar los registros se determina que en el dispositivo de almacenamiento extraíble son superiores en calidad y en resolución.

- Con la experiencia adquirida en las pruebas realizadas, se desarrolló un procedimiento de operación en el cual se manifiesta los parámetros para el uso de este equipo de una manera apropiada, evitando situaciones riesgosas que podrían desembocar en un accidente.

- Se ha comprobado mediante pruebas de vuelo en espacios abiertos que existe un rango de seguridad de 50% de la distancia de control límite esperada puesto que se ha logrado dirigir el vuelo en un radio aproximado de 1.5 Km.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta a todo el procedimiento e indicaciones señaladas en el Instructivo de operación con nombre y extensión UPSPTDRONE-PROCEDMIENTO_DE_OPERACION localizado en el ANEXO 4.

- Se sugiere el uso de una cubierta de pantalla para el dispositivo móvil usado como pantalla de la consola si se realiza una actividad con el drone y la consola al aire libre donde la luz ambiental afecte a la visibilidad de la pantalla.

- Para mantener la consola en operación, se recomienda cargar la batería de la consola del drone por lo menos una hora después de su uso.

- Se aconseja realizar una inspección previa del lugar en el que aplicará la consola y el drone para definir los límites de vuelo.

- Se advierte aterrizar el drone o no efectuar su despegue si es que se presentan problemas de cierres inesperados de la aplicación en pantalla de la consola de manejo.

- Se debe cambiar de dispositivo móvil si el actual presenta demasiados problemas de inestabilidad al operar el drone.

- Efectuar el cambio inmediato de las hélices del drone, así como el descarte de las hélices usadas si el operador observa deterioro en ellas.

- Para que la consola controle drones diferentes a los de la familia PHANTOM 3, se puede desarrollar un controlador para el manejo de diferentes sensores y actuadores.

REFERENCIAS

Andave, Z. A.-M. (18 de Diciembre de 2014). *ACADEMIA*. Obtenido de https://www.academia.edu/10317245/VENTAJAS_Y_DESVENTAJAS_DRONES

BUILES, A. C. (2010). Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ingeniería Administrativa. Medellín, Antioquia, Colombia.

Cortes, J. P. (4 de Agosto de 2014). QUÉ ES UN DRONE. Santiago, Santiago, Chile.

David. (2015). *MINI DRONES*. Obtenido de MINI DRONES: http://www.minidrons.com/ucav-uavs-tipos-drones/

Ounae. (2015). *Ounae*. Obtenido de Ounae: http://ounae.com/aplicaciones-usos-drones/

Romeva, C. R. (2002). *Diseño Concurrente*.

STRIPES, S. A. (2015). *STARS ANS STRIPES*. Obtenido de STARS ANS STRIPES: http://www.stripes.com/news/maritime-drones-make-waves-among-navies-worldwide-1.151087

ZEKIDAR. (2015). *ZEKIDAR*. Obtenido de http://www.zekidar.com/los-drones/