



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE
FUMIGACIÓN PARA CULTIVO DE PAPA MEDIANTE EL USO
DE UN VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORA: KATERINE YAJAIRA REINOSO OROZCO

DIRECTOR: Ing. FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO

Riobamba – Ecuador

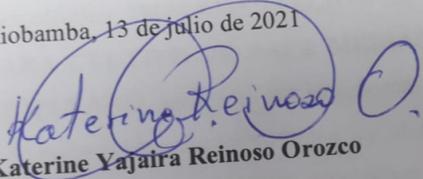
2021

© 2021, Katerine Yajaira Reinoso Orozco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Katerine Yajaira Reinoso Orozco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de julio de 2021

Katerine Yajaira Reinoso Orozco

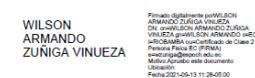
060465587-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Propuesta tecnológica, **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTÓNOMO DE FUMIGACION PARA CULTIVO DE PAPA MEDIANTE EL USO DE UN VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO**, realizado por la señorita: **KATERINE YAJAIRA REINOSO OROZCO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|---|--------------|
| Dr. Wilson Armando Zúñiga Vinueza PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  WILSON ARMANDO ZUÑIGA VINUEZA | 2021-07-16 |
| Ing. Fausto Ramiro Cabrera Aguayo DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN |  FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO | 2021-07-16 |
| Ing. Freddy Enrique Chávez Vasquez MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: FREDDY ENRIQUE CHAVEZ VASQUEZ | 2021-07-16 |

DEDICATORIA

Con mucho amor, a mis padres Wilson y Gladys, mis hermanas Albita y Gladys y en especial a mi hija Adrianita. Este logro se los debo a ustedes.

Katerine.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer infinitamente, a Dios, por su amor y bondad; Me ha dado la oportunidad de luchar día a día y me ha bendecido inmensamente, hoy gracias a ti mi Dios, puedo tener la dicha de que mis padres estén a mi lado sanos, a mis padres Wilson y Gladys, por el gran amor que me tienen, por su apoyo en cada momento de mi vida y porque han luchado incansablemente para que pueda cumplir cada una de mis metas, gracias a ustedes soy la persona que ahora soy, a mi hija porque con su amor me motiva a mejorar y luchar cada día, a mi hermana Albita por cuidar de mi como una madre, por su apoyo incondicional en cada proyecto y por siempre creer en mí, a mi hermana Gladys que desde el cielo siempre me bendice y me cuida, a mi compañero de vida Javy, por su cariño, por estar a mi lado, festejando los buenos momentos y brindándome su fuerza y apoyo en los momentos difíciles, a mis abuelitos, José, Rosa, Roberto y Matilde, tíos y primos, que con cada acción que han hecho, han aportado un granito de arena.

El camino no ha sido fácil, pero gracias a sus aportes, inmensa bondad, amor y apoyo, no lo tuve que recorrer sola. Les agradezco por creer en mí y demostrarme el gran cariño que me tienen y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi amada familia.

También quiero expresar mi agradecimiento a la ESPOCH por abrirme las puertas y permitir mi formación y a mis docentes que sin recelo compartieron conmigo sus conocimientos y sus buenos consejos para la vida.

Katerine.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-------|
| INDICE DE TABLAS..... | XII |
| INDICE DE FIGURAS..... | XIV |
| INDICE DE GRÁFICOS..... | XVII |
| INDICE DE ANEXOS | XVIII |
| RESUMEN..... | XIX |
| SUMMARY | XX |
| INDICE DE ABREVIATURAS..... | XXI |
| | |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 Fumigación agrícola..... | 5 |
| 2.1.1 Definición..... | 5 |
| 2.1.2 Partes de los Sistemas de fumigación..... | 5 |
| 2.1.2.1 Bomba | 5 |
| 2.1.2.2 Dosificación | 5 |
| 2.1.2.3 Conductor de agua..... | 6 |
| 2.2 Sistemas autónomos de fumigación | 6 |
| 2.3 Vehículo aéreo no tripulado | 7 |
| 2.3.1 Definición | 7 |
| 2.3.2 Tipos de Vant | 7 |
| 2.3.2.1 Ala Fija | 7 |
| 2.3.2.2 Ala Rotativa..... | 8 |
| 2.3.3 Partes..... | 10 |
| 2.3.3.1 Chasis..... | 10 |
| 2.3.3.2 Motores | 10 |
| 2.3.3.3 Hélices..... | 11 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.3.3.4 | <i>Placa controladora de vuelo</i> | 12 |
| 2.3.3.5 | <i>Regulador de velocidad</i> | 12 |
| 2.3.3.6 | <i>Telemetría</i> | 13 |
| 2.3.3.7 | <i>Estación de control a tierra</i> | 13 |
| 2.3.3.8 | <i>Software de estación de control de tierra</i> | 14 |
| 2.3.3.9 | <i>Batería</i> | 14 |
| 2.3.3.10 | <i>Máxima descarga</i> | 15 |
| 2.4 | Cultivo de papa | 15 |
| 2.4.1 | <i>Generalidades</i> | 15 |
| 2.4.2 | <i>Taxonomía</i> | 15 |
| 2.4.3 | <i>Morfología</i> | 16 |
| 2.4.4 | <i>Plagas y Enfermedades</i> | 17 |
| 2.4.4.1 | <i>Principales plagas</i> | 17 |
| 2.4.4.2 | <i>Principales enfermedades</i> | 17 |
| 2.4.5 | <i>Aplicación de funguicidas y plaguicidas</i> | 18 |
| 2.4.6 | <i>Distancia de Siembra</i> | 18 |
| 2.4.6.1 | <i>Distancia Amplia</i> | 18 |
| 2.4.6.2 | <i>Distancia Angosta</i> | 18 |
| 2.4.7 | <i>Densidad de siembra</i> | 18 |
| 2.5 | Software | 19 |
| 2.5.1 | <i>SolidWorks</i> | 19 |
| 2.5.1.1 | <i>Definición</i> | 20 |
| 2.5.1.2 | <i>Interfaz</i> | 20 |
| 2.5.1.3 | <i>Planificación general</i> | 20 |
| 2.5.1.4 | <i>Vuelo multi-nivel</i> | 21 |
| 2.5.1.5 | <i>Planificación de una misión con punto de referencia</i> | 21 |
| 2.5.1.6 | <i>MAVLink</i> | 21 |
| 2.6 | Normas Aplicadas | 23 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3 | METODOLOGÍA | 25 |
| 3.1 | Requerimiento del sistema | 25 |
| 3.2 | Idea e innovación..... | 26 |
| 3.3 | Diseño de las etapas de la arquitectura del sistema | 26 |
| 3.3.1 | <i>Etapas de fumigación</i> | 26 |
| 3.3.2 | <i>Etapas de obtención de datos</i> | 27 |
| 3.3.3 | <i>Etapas de alimentación</i> | 27 |
| 3.3.4 | <i>Etapas de procesamiento</i> | 27 |
| 3.3.5 | <i>Etapas de transmisión</i> | 28 |
| 3.3.6 | <i>Etapas de actuadores</i> | 28 |
| 3.3.7 | <i>Etapas de visualización</i> | 28 |
| 3.4 | Selección de componentes del sistema | 29 |
| 3.4.1 | <i>Sensor de nivel flotador T36.....</i> | 29 |
| 3.4.2 | <i>Bomba de presión de agua sumergible.....</i> | 30 |
| 3.4.3 | <i>Tanque de almacenamiento de líquido</i> | 30 |
| 3.4.4 | <i>Conducto de agua.....</i> | 31 |
| 3.4.5 | <i>Boquillas de aspersion.....</i> | 32 |
| 3.4.6 | <i>Pixhawk 2.4.8</i> | 33 |
| 3.4.7 | <i>Módulo de transmisión de datos 3DR</i> | 34 |
| 3.4.8 | <i>Módulo GPS Ublox Neo M8N</i> | 35 |
| 3.4.9 | <i>Transmisor RC FlySky Fs-i6X.....</i> | 36 |
| 3.4.10 | <i>Frame Tarot 650 fibra de Carbono 4 ejes.....</i> | 37 |
| 3.4.11 | <i>Motor brushless</i> | 38 |
| 3.4.12 | <i>ESC BLHeli 40 A</i> | 38 |
| 3.4.13 | <i>Batería Lipo HRB 6000mAh.....</i> | 39 |
| 3.4.14 | <i>Hélices TL2831 15 X 5.5</i> | 41 |
| 3.5 | Esquema de conexión del prototipo..... | 44 |
| 3.5.1 | <i>Conexión de los motores.....</i> | 44 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.5.2 | <i>Conexión del controlador de vuelo.....</i> | 46 |
| 3.5.3 | <i>Conexión del sistema de fumigación</i> | 48 |
| 3.6 | Montaje del sistema de fumigación..... | 49 |
| 3.7 | Altura y velocidad de vuelo del Vant..... | 53 |
| 3.7.1 | <i>Análisis de la altura del VANT</i> | 53 |
| 3.7.2 | <i>Análisis de la Velocidad del VANT.....</i> | 55 |
| 3.8 | Diseño del Sistema de Fumigación..... | 56 |
| 3.9 | Programación del controlador de vuelo | 56 |
| 3.9.1 | <i>Programación en Mission Planner.....</i> | 56 |
| 3.9.2 | <i>Configuración de los modos de vuelo.....</i> | 61 |
| 3.9.3 | <i>Programación de la trayectoria en modo automático</i> | 63 |
| 3.9.4 | <i>Reconocimiento del terreno</i> | 63 |
| 3.9.5 | <i>Planificación de la trayectoria</i> | 64 |
| 3.9.6 | <i>Configuración del sistema de fumigación</i> | 67 |
| 3.9.6.1 | <i>Activación de la bomba para pulverización.....</i> | 67 |
| 3.9.6.2 | <i>Configuración de la bomba para pulverización</i> | 68 |
| 3.9.6.3 | <i>Activación desde el radio control de la bomba.....</i> | 68 |
| 3.9.7 | <i>Implementación del VANT.....</i> | 69 |
| 3.10 | Análisis y resultado del prototipo | 71 |
| 3.10.1 | <i>Prueba en la batería</i> | 71 |
| 3.10.2 | <i>Prueba del controlador de vuelo</i> | 73 |
| 3.10.3 | <i>Prueba del módulo de telemetría.....</i> | 73 |
| 3.10.4 | <i>Prueba del módulo GPS</i> | 74 |
| 3.10.5 | <i>Prueba del transmisor y receptor</i> | 75 |
| 3.10.6 | <i>Prueba de los motores y los ESC.....</i> | 76 |
| 3.10.7 | <i>Prueba de la bomba.....</i> | 77 |
| 3.10.8 | <i>Validación de la trayectoria</i> | 78 |
| 3.10.9 | <i>Validación de la altura de vuelo del VANT para la fumigación.....</i> | 78 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.10.10 | <i>Validación de la velocidad de vuelo del VANT para la fumigación</i> | 79 |
| 3.10.11 | <i>Validación del porcentaje de fumigación en las plantas</i> | 80 |
| 4 | GESTIÓN DEL PROYECTO | 82 |
| 4.1 | Cronograma | 82 |
| 4.2 | Recursos Materiales | 82 |
| 5 | CONCLUSIONES | 85 |
| 6 | RECOMENDACIONES | 86 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| Tabla 2-1: | Tipos de boquilla de aspersión | 5 |
| Tabla 2-2: | Voltaje según el número de celdas en batería LiPo y NiCd | 14 |
| Tabla 3-2: | Taxonomía de la planta de papa | 16 |
| Tabla 4-2: | Morfología de la planta de papa | 16 |
| Tabla 5-2: | Plagas del cultivo de papa..... | 17 |
| Tabla 6-2: | Enfermedades del cultivo de papa | 17 |
| Tabla 7-2: | Componentes del paquete del protocolo MAVLink..... | 22 |
| Tabla 1-3: | Características técnicas del sensor flotador T36..... | 29 |
| Tabla 2-3: | Tabla de comparación entre las características técnicas de las bombas: de diafragma, Anself y RS-3600H..... | 30 |
| Tabla 3-3: | Características técnicas del tanque | 31 |
| Tabla 4-3: | Características técnicas del conducto de agua..... | 32 |
| Tabla 5-3: | Tabla de comparación entre las características técnicas de las boquillas: Nebulizador, micro JET II y Rondo..... | 32 |
| Tabla 6-3: | Características técnicas del controlador de vuelo Pixhawk 2.4.8..... | 33 |
| Tabla 7-3: | Características técnicas del módulo de transmisión de datos 3DR..... | 34 |
| Tabla 8-3: | Características técnicas del módulo GPS Ublox Neo M8N..... | 35 |
| Tabla 9-3: | Características técnicas del Control Remoto y Receptor FlySky Fs-i6X..... | 36 |
| Tabla 10-3: | Características técnicas del frame Tarot 650..... | 37 |
| Tabla 11-3: | Características técnicas del Motor Brushless | 38 |
| Tabla 12-3: | Características técnicas del controlador de velocidad ESC BLHeli 40 A..... | 39 |
| Tabla 13-3: | Características técnicas de la Batería LiPo HRB 6000mAh..... | 39 |
| Tabla 14-3: | Consumo de Corriente Total del Sistema AFPV..... | 40 |
| Tabla 15-3: | Características técnicas de las hélices TL2831 15 X 5.5..... | 41 |
| Tabla 16-3: | Peso total de los elementos del Sistema FAPV | 43 |
| Tabla 17-3: | Valores del Ancho de pulverización a diferentes alturas..... | 54 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabla 18-3: | Calidad de cobertura en la planta a diferentes velocidades | 55 |
| Tabla 19-3: | Características de los diferentes Modos de vuelo que soporta el controlador de vuelo Pixhawk 2.4.8..... | 62 |
| Tabla 20-3: | Parámetros de configuración para la activación de la bomba para pulverizar..... | 67 |
| Tabla 21-3: | Parámetros de configuración para la bomba para pulverizar..... | 68 |
| Tabla 22-3: | Resultado de pruebas realizadas en la batería LiPo..... | 71 |
| Tabla 23-3: | Pruebas realizadas en cada celda de la batería LiPo..... | 72 |
| Tabla 24-3: | Resultado de pruebas realizadas en el controlador de vuelo | 73 |
| Tabla 25-3: | Pruebas realizadas en el controlador de vuelo..... | 73 |
| Tabla 26-3: | Resultado de pruebas realizadas en el módulo de telemetría | 74 |
| Tabla 27-3: | Resultado de las pruebas realizadas en el módulo GPS | 74 |
| Tabla 28-3: | Resultado de pruebas realizadas en el transmisor y receptor | 75 |
| Tabla 29-3: | Resultados de pruebas realizadas en los Motores y ESC | 76 |
| Tabla 30-3: | Resultados de la prueba realizada a la bomba | 77 |
| Tabla 31-3: | Validación de la altura de vuelo del Vant..... | 78 |
| Tabla 32-3: | Validación de la velocidad de vuelo del Vant | 79 |
| Tabla 33-3: | Validación del porcentaje de fumigación en las plantas..... | 81 |
| Tabla 1-4: | Validación económica del Sistema FAPV..... | 83 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 1-2. | Robot terrestre | 7 |
| Figura 2-2. | Vant de ala fija | 7 |
| Figura 3-2. | Tricóptero | 8 |
| Figura 4-2. | Cuadricóptero | 8 |
| Figura 5-2. | Hexacóptero..... | 9 |
| Figura 6-2. | Octacóptero | 9 |
| Figura 7-2. | Chasis de un Vant de 4 ejes..... | 10 |
| Figura 8-2. | Motor brushless | 10 |
| Figura 9-2. | Longitud de hélice | 11 |
| Figura 10-2. | Paso de una hélice | 11 |
| Figura 11-2. | Placa controladora de vuelo Pixhawk..... | 12 |
| Figura 12-2. | Regulador de velocidad..... | 12 |
| Figura 13-2. | Módulo de telemetría..... | 13 |
| Figura 14-2. | Estación de control a tierra..... | 13 |
| Figura 15-2. | Interfaz del software QGroundControl..... | 14 |
| Figura 16-2. | Bateria LiPo..... | 15 |
| Figura 17-2. | Distancia entre surcos en un cultivo de papa..... | 19 |
| Figura 18-2. | Distancia entre plantas en un cultivo de papa | 19 |
| Figura 19-2. | Patrón de vuelo alternativo..... | 20 |
| Figura 20-2. | Vuelo Multi-nivel..... | 21 |
| Figura 21-2. | Partes del paquete del protocolo MAVLink..... | 22 |
| Figura 1-3. | Sensor de nivel flotador T36 | 29 |
| Figura 2-3. | Tanque de almacenamiento del líquido | 31 |
| Figura 3-3. | Rompeolas..... | 31 |
| Figura 4-3. | Conducto de agua..... | 32 |
| Figura 5-3. | Pixhawk 2.4.8..... | 34 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 6-3. | Módulo de tierra de radio telemetría | 35 |
| Figura 7-3. | Módulo de aire de radio telemetría..... | 35 |
| Figura 8-3. | Módulo GPS Ublox Neo | 36 |
| Figura 9-3. | Frame Tarot 640 Fibra de Carbono | 37 |
| Figura 10-3. | Motor brushless 320KV | 38 |
| Figura 11-3. | ESC BLHeli 40A..... | 39 |
| Figura 12-3. | Bateria LiPo HRB | 40 |
| Figura 13-3. | Hélices TL2831 | 41 |
| Figura 14-3. | Punto del centro de empuje del Vant..... | 50 |
| Figura 15-3. | Distribución de los elementos en el plano | 51 |
| Figura 16-3. | Diseño en SolidWorks para el acople del sistema de fumigación..... | 56 |
| Figura 17-3. | Interfaz gráfica del Software Mission Planner | 57 |
| Figura 18-3. | Interfaz gráfica del Software Mission Planner | 57 |
| Figura 19-3. | Interfaz gráfica del Software Mission Planner | 58 |
| Figura 20-3. | Posiciones del Vant para calibrar el acelerómetro..... | 61 |
| Figura 21-3. | Pantalla de visualización al calibrar la brújula | 61 |
| Figura 22-3. | Interfaz gráfica del Software Mission Planner | 63 |
| Figura 23-3. | Interfaz gráfica del Software Mission Planner | 67 |
| Figura 24-3. | Configuración del canal auxiliar | 68 |
| Figura 25-3. | Montaje del motor en el frame | 69 |
| Figura 26-3. | Montaje del ESC sobre el frame..... | 69 |
| Figura 27-3. | Placa de potencia | 70 |
| Figura 28-3. | Montaje completo en el Vant | 70 |
| Figura 29-3. | Montaje de las hélices sobre los motores del Vant..... | 71 |
| Figura 30-3. | Módulo de telemetría en funcion..... | 74 |
| Figura 31-3. | Módulo GPS en función | 75 |
| Figura 32-3. | Pruebas realizadas en el transmisor y receptor..... | 76 |
| Figura 33-3. | Pruebas realizadas en los motores CCW y CW..... | 77 |

| | | |
|---------------------|---|----|
| Figura 34-3. | Pruebas realizadas en la bomba y el sensor flotador | 77 |
| Figura 35-3. | Trayectoria planificada..... | 78 |
| Figura 1-4. | Cronograma..... | 82 |

INDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|----------------------|--|----|
| Gráfico 1-2: | Esquema de conexión mediante protocolo MAVLink | 22 |
| Gráfico 1-3: | Metodología usada para el desarrollo de la investigación | 25 |
| Gráfico 2-3: | Arquitectura del Sistema AFPV | 26 |
| Gráfico 3-3: | Etapa de fumigación..... | 27 |
| Gráfico 4-3: | Etapa de obtención de datos | 27 |
| Gráfico 5-3: | Etapa de procesamiento..... | 28 |
| Gráfico 6-3: | Esquema de conexión de los ESC | 45 |
| Gráfico 7-3: | Montaje de las hélices | 46 |
| Gráfico 8-3: | Disposición de los motores..... | 46 |
| Gráfico 9-3: | Esquema de conexión de la Pixhawk 2.4.8 con los ESC..... | 47 |
| Gráfico 10-3: | Partes de la Pixhawk 2.4.8..... | 48 |
| Gráfico 11-3: | Partes de la Pixhawk 2.4.8..... | 48 |
| Gráfico 12-3: | Esquema de conexión del sistema de fumigación | 49 |

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Certificado de validación de la fumigación.

ANEXO B: Datasheet del controlador de vuelo Pixhawk 2.4.8

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolló la implementación de un sistema autónomo de fumigación para cultivo de papa mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado. La comunicación entre el sistema de fumigación y el Vehículo aéreo no tripulado (VANT), se basó en la metodología de Norton, en la que se desarrollan nueve etapas para el dimensionamiento, selección e implementación de los dispositivos; en las primeras etapas se realizó la identificación de la necesidad y recolección de información mediante otras investigaciones realizadas anteriormente de temas similares, en las siguientes etapas se escogió los componentes en base a los requerimientos del sistema y de las recomendaciones de los fabricantes de los diferentes dispositivos electrónicos. Se calculó el centro de gravedad y el centro de empuje a partir de los pesos y posiciones de los elementos, con la finalidad de que el peso se distribuya equitativamente entre los 4 motores del VANT. Para el ensamblaje de las partes, se vio la necesidad de diseñar acoples de sujeción entre el sistema de fumigación y el VANT con la ayuda del Software SolidWorks. La programación del sistema se realizó en el Software Mission Planner, fueron necesarios cálculos del ancho de aspersion, velocidad y altura, para brindar una cobertura adecuada del funguicida en la planta de papa. Se realizó pruebas de los componentes del sistema de forma individual y en conjunto, arrojando como resultado un valor mínimo permisible en la media del error, por lo que se concluye que el VANT es capaz de realizar la fumigación con la cobertura del funguicida adecuada y mantener la comunicación con la estación de control a tierra. Se recomienda profundizar en la investigación para que el VANT pueda realizar sus funciones independientemente de las condiciones climáticas.

Palabras clave: < VEHÍCULO AEREO NO TRIPULADO (VANT)>, <CULTIVO DE PAPA>, <FUMIGACIÓN>, <AUTÓNOMO>, <MISSION PLANNER>, <TELEMETRÍA>



1369-DBRAI-UPT-2021

SUMMARY

In the present graduation work, the implementation of an autonomous fumigation system for potato crops was developed through the use of an unmanned aerial vehicle. The communication between the fumigation system and the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) was based on the Norton methodology, in which nine stages are developed for the sizing, selection and implementation of the devices; In the first stages, the need was identified as well as the collection of information through other previously conducted investigations on similar topics, in the following stages the components were chosen based on the system requirements and the recommendations of the manufacturers of the different electronic devices. The center of gravity and the center of thrust were calculated from the weights and positions of the elements, so that the weight to be equally distributed among the 4 UAV engines. For the assembly of the parts, it was necessary to design clamping couplings between the spraying system and the UAV with the help of SolidWorks Software. The programming of the system was carried out in the Mission Planner Software, calculations of the spray width, speed and height were necessary to provide adequate coverage of the fungicide in the potato plant. The system components were tested individually and together, having as a result a minimum permissible value in the mean of the error, which is why it is concluded that the UAV can carry out the fumigation with adequate fungicide coverage and maintaining communication with the ground control station. Research is recommended so that UAV can perform its functions regardless of weather conditions.

Keywords: <TELEMETRY>, <AUTONOMOUS SYSTEMS>, <FUMIGATION>, <POTATO CROP>, <UNMANNED AIR VEHICLE (UAV)>, <MISSION PLANNER (SOFTWARE)>



Firmado electrónicamente por:
**NELLY MARGARITA
PADILLA PADILLA**

INDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|--------------|---|
| %: | Porcentaje |
| V: | Voltios |
| mAh: | Miliamperio hora |
| g: | Gramo |
| mm: | Milímetro |
| °C: | Grado centígrado |
| msnm: | Metro sobre el nivel de mar |
| Kg: | Kilogramo |
| Ha: | Hectárea |
| cc: | Centímetro cúbico |
| cm: | Centímetro |
| l: | Litro |
| W: | Vatio |
| MW: | Megavatio |
| A: | Amperios |
| Ma: | Miliamperio |
| Hz: | Hercio |
| GHz: | Gigahercio |
| MHz: | Megahercio |
| Kb: | Kilobyte |
| Mb: | Megabyte |
| dBm: | Decibelio - milivatio |
| Vdc: | Voltaje corriente directa |
| min: | Minuto |
| L: | Litro |
| ml: | Mililitro |
| lph: | Litro por hora |
| in: | Inch (Pulgada) |
| OMS: | Organización mundial de la salud |
| m: | Metro |
| VANT: | Vehículo aéreo no tripulado |
| APM: | Proyecto de piloto automático |
| GUI: | Graphical User Interface (Interfaz grafico de usuario) |
| RPAS: | Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de aeronaves pilotadas a distancia) |

| | |
|---------------|---|
| CSV: | Valores separados por comas |
| GPS: | Sistema de posicionamiento global |
| NASA: | Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio |
| UAV: | Unmanned aerial vehicle (Vehículo aéreo no tripulado) |
| ESC: | Electronic Speed Controlle (Control de velocidad electrónico) |
| CPU: | Unidad Central de procesamiento |
| RAM: | Memoria de Acceso Aleatorio |
| ROM: | Memoria de solo lectura |
| GSC: | Sistema de control atierra |
| LiPo: | Litio Polímero |
| NiCd: | Níquel Cadmio |
| PWM: | Modulación por ancho de pulsos |
| PPM: | Modulación por posición de pulso |
| i-BUS: | Intelligent input Bus (Bus de entrada inteligente) |
| PCB: | Placa de circuito impreso |
| KV: | Kilovoltio |
| RPM: | Revoluciones por minuto |
| Ohm: | Ohmio |
| s: | Segundo |
| CW: | Clock wise (Rotación horaria) |
| CCW: | Counter clockwise (Rotación antihoraria) |
| VCC: | Voltaje corriente continua |
| GND: | Ground (Tierra) |
| CH: | Channel (Canal) |
| USB: | Universal Serial Bus (Puerto de seriado universal) |
| SD: | Secure Digital (Seguro digital) |
| PH: | Potencial hidrogeno |
| m/s: | Metro sobre segundo |
| COM: | Comunicación |
| PC: | Personal Computer (Computadora personal) |
| °: | Grados |

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura desde el inicio de la humanidad ha tenido varios cambios hasta el punto en el que este momento se encuentra, se puede diferenciar cinco etapas en su evolución, desde la agricultura 0.0 hasta la agricultura 4.0 en donde a la agricultura ya se la ve como una red de intercambio permanente de información. (Valero, 2019, pp.31-32)

En las décadas de los 70 y 80 en el estado de Minnesota en Estados Unidos se comienza a usar técnicas para el análisis y muestreo del suelo de cultivos. Se establece el concepto de variabilidad de suelo y plantas con el esfuerzo en conjunto de varias compañías y se comienza a manejar los campos por zonas y ya no solo como un área de trabajo; De la misma manera desde el año 1977 empieza una evolución en las máquinas agrícolas, donde se empieza a usar sensores y sistemas de posicionamiento global o GPS. (Bongiovanni et al., 2006, p.18)

Ahora bien, Argentina ha apostado por proyectos de agricultura de precisión, que inició en el año de 1996 y llegó a su auge en todo el país, tres años después, incluye varias técnicas como el monitoreo de plagas, sistemas guiados por GPS, monitoreo de la densidad de siembra y las dosis de fertilizantes, para de esta manera tener un proceso más eficiente y preciso en el manejo del cultivo. (García y Flego, 2008, p.100)

La agricultura en Ecuador es sumamente crucial, se podría decir que es uno de los ejes más importantes del sistema económico de nuestro país, debido a que proporciona alimentos, materia prima y empleo. En consecuencia, han sido varias empresas ecuatorianas que han optado por la agricultura de precisión, así es el caso del Ingenio San Carlos donde que, a partir de un estudio de la variabilidad de producción, se decidió dividir los grandes canchales en lotes más pequeños, en donde se maneja la fertilización, preparación de suelos control de malezas y de riego de los lotes de cultivo de caña con agricultura de precisión, lo que ha permitido amparar la estructura de suelo y ahorrar dinero. (Reinoso y Zabala, 2012, pp.52-53)

De igual manera son cientos los productores que tratan de generar más eficiencia en cada una de sus producciones. En Chimborazo el cultivo de papa se extiende en gran cantidad y es el sustento de varias familias, sin embargo, existen diversos problemas en el momento de controlar las plagas y enfermedades que afectan a la producción. Una de las herramientas de la agricultura de precisión es el uso de drones para todas estas actividades, que mediante sus accesorios tales como el GPS,

sensores, mecanismos para el regadío de plaguicidas y fertilizantes, permite prestar una adecuada atención a los cultivos. (González et al., 2016, p.24)

La fumigación y fertilización de cultivos se realizan manualmente lo que provoca grandes riesgos para la salud de los trabajadores agrícolas, existen varios plaguicidas que son sumamente tóxicos, pueden causar intoxicaciones con solo inhalarlo o con el contacto con la piel e incluso a largo plazo puede provocar cáncer, daños a diferentes órganos, tales como: pulmones, riñones, cerebro entre otros.(Hinojosa y Rodríguez, 2013, p.35)

Como una posible solución se presenta este trabajo de investigación que pretende implementar un sistema de fumigación para cultivo de papa mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado, que por medio de un controlador de vuelo programado desde un computador nos permita generar un vuelo sobre un cultivo. El diseño del sistema de aspersión debe ser tal que dé una cobertura adecuada del funguicida en la planta, para esto se realizará el análisis pertinente para controlar la altura y velocidad que garanticen el porcentaje recomendado de cobertura de las plantas.

ANTECEDENTES

Un trabajo de grado realizada en la Universidad Técnica de Ambato, con el tema “Sistema autónomo de pulverización para fumigación de plantaciones de frutilla asistido por un drone” presenta el análisis de las características técnicas, así como del tratamiento fitosanitario para fumigar un cultivo de frutilla, con la finalidad de brindar una cobertura correcta en las hojas de la planta y de esta manera disminuir el tiempo, los recursos económicos y cuidar la salud del operador. (Mayanquer Gavilanez, 2019)

En otro trabajo de titulación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con el tema “Diseño y construcción de un prototipo de sistema de vuelo cooperativo de vehículos aéreos no tripulados para tareas de micro fumigación” se diseñó y construyó un prototipo en donde se usó varias técnicas tales como multiplexación por división de tiempo y el espectro de salto expandido para realizar la retransmisión de comunicación mediante módulos de telemetría. Teniendo como resultado un vuelo cooperativo con Vants para micro fumigación. (Suqui y Paredes, 2019)

Una investigación realizada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, acerca del “Impacto del uso de drones para fumigación de cultivos de arándanos en el departamento de La Libertad – Perú” con el fin de aplicar este tipo de tecnología en la agricultura y reducir costos, arrojando como conclusión, que la fumigación con drones puede ser viable en los cultivos, durante

las primeras semanas ya que no requieren de gran cantidad de agua para ser totalmente cubierta.(Sender y Gómez, 2017)

Investigadores de la Escuela Politécnica Nacional, desarrollan un dron para análisis ambiental en Ecuador. Explican que en los cultivos de papa existen microclimas, ya que las temperaturas en las hojas son más bajas, por lo que las plagas se encuentran sobre las hojas y no en la tierra. Plantean que la mayoría de drones de origen extranjero se caen o se pierdan al momento del vuelo, debido a que el aire es mas espeso cuando esta en una altitud mayor, por lo que construyeron el dron con hélices especiales para volar a más de 4000 metros de altura y poder adaptarle las herramientas necesarias para estudiar la dispersión de las plagas y enfermedades en Ecuador. (Sorgato, 2016)

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de varios mercados nacionales e internacionales, se ofertan diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados para la fumigación aérea de cultivos, a un costo sumamente elevado y con una estructura física grande y pesada; El problema científico de la presente investigación consiste en implementar un sistema autónomo de fumigación en un vehículo aéreo no tripulado que sea capaz de realizar una fumigación adecuada en un cultivo en papa, cumpliendo requerimientos mecánicos como electrónicos y que a su vez sea de un precio accesible para los agricultores y de esta manera facilitar con las labores culturales de los agricultores.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El uso de Vehículos aéreos no tripulados para fumigación, se debe a las facilidades que presenta en espacios de difícil acceso para los seres humanos, así como también el ahorro de tiempo, material y de recursos humanos, por esto el diseño y construcción del sistema de fumigación aérea para realizar fumigaciones en los cultivos presenta las herramientas necesarias para que el productor pueda realizar la fumigación de una manera más sencilla, ergonómica y rápida, ya que se han tomado en cuenta medidas necesarias para realizar esta actividad. A demás de contribuir con el cuidado de la salud del agricultor y del medio ambiente.

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema autónomo de fumigación para cultivo de papa mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Investigar las generalidades, morfología, plagas, enfermedades y tipos de fungicidas referentes a los cultivos de papas.
- Investigar los sistemas autónomos de fumigación para cultivos que existen.
- Investigar los tipos de vehículos aéreos no tripulados que pueden ser usados para este fin.
- Diseñar un sistema de fumigación capaz de ser adaptado a un Vehículo aéreo no tripulado para fumigar un cultivo de papa.
- Construir un sistema de fumigación para cultivo de papa adaptable a un Vehículo aéreo no tripulado.
- Elaborar la planificación de trayectoria para la cobertura del área a fumigar.
- Evaluar el desempeño del dispositivo en la fumigación de la planta de papa.

ALCANCE

Con la implementación de un sistema autónomo de fumigación para cultivo de papa mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado o mejor conocido como Vant se espera: alcanzar una fumigación adecuada sobre las plantas del cultivo; A partir de los datos obtenidos de los diferentes dispositivos electrónicos implementados en el Vant se podrá determinar la velocidad, altura y punto de inicio de aspersión. Además, se espera dar inicio a futuras investigaciones referentes a la fumigación aérea con Vant, para generar un avance en la agricultura en nuestro país y de a poco ir mejorando la practicas agrícolas.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Fumigación agrícola

2.1.1 Definición

La fumigación es el proceso mediante el cual se pretende prevenir, controlar y combatir las plagas y enfermedades virales o bacterianas mediante el uso de productos fitosanitarios, con el fin de proteger la vida vegetal. (Mayanquer Gavilanez, 2019, p.7)

La fumigación agrícola comprende varios procesos tales como: la limpieza del terreno, la aspersión de fungicidas, entre otros, con el fin de controlar las plagas y enfermedades, esto es la base para un cultivo productivo. (Navia, 2019, p.11)

2.1.2 Partes de los Sistemas de fumigación

2.1.2.1 Bomba

La bomba es un dispositivo que capta e impulsa un fluido, ya sea por una fuerza centrífuga o por el movimiento de hélices similares a la de un ventilador lo que permite elevar a grandes o pequeños caudales a diferentes alturas. La eficiencia se mide como la relación que existe entre la potencia entregada y la potencia de salida, es muy importante, debido a que mayor eficiencia menor es el consumo de combustible. (Varas B, 2000, pp.1-2)

2.1.2.2 Dosificación

Es el sistema mediante el cual se suministra una cantidad de fitosanitario sobre una cierta zona y para lograr los espectros de aplicación que se desea, existen varios tipos de boquillas, con sus propios patrones de atomización propios para cada circunstancia. (García, 1996, p.87)

Tabla 2-1: Tipos de boquilla de aspersión

| Tipo de Boquilla | Uso | Patrón de aspersión | Características |
|------------------|--|---|---|
| Cono | Insecticidas funguicidas Abonos foliares |  | Gotas finas, presenta un barrido circular y brinda una cobertura completa de la |

| | | | | |
|----------|-----------------------------|--|---|------------------------|
| | | | planta. Puede ser de cono hueco o cono lleno. | |
| Abanico | Herbicidas |  | Pulverización con concentración hacia el centro. | |
| Variable | Insecticidas Funguicidas |   | Color de boquilla | Ancho de aspersión (m) |
| | | | Rojo | 2.0 |
| | | | Azul | 1.5 |
| | | | Verde | 1.0 |
| | | | Amarillo | 0.5 |
| Baño | Herbicidas |  | Tiene un gran rango de operación, desde volúmenes muy grandes hasta gotas muy pequeñas con volúmenes muy bajos. | |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.1.2.3 Conductor de agua

Son tubos flexibles y de longitud larga, generalmente son fabricados en goma, plástico y metal, se usan para conducir un fluido de un punto a otro y sus extremos son una entrada y salida independientes.

2.2 Sistemas autónomos de fumigación

Existen diferentes vías de fumigación para cultivos tales como la terrestre y la fumigación aérea; Se realiza con robots móviles y con vehículos aéreos correspondientemente. Un robot móvil es aquel que mediante diferentes componentes electrónicos, cumplen diferentes funciones tales como: la percepción, locomoción y la decisión. (Rodríguez y Zabala, 2017, p.38)

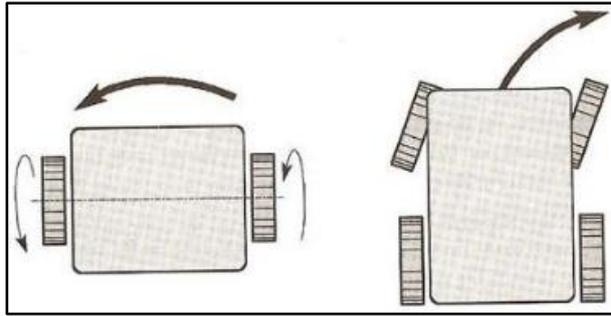


Figura 1-2. Robot terrestre
Fuente: (Rodríguez y Zabala, 2017, p.38)

2.3 Vehículo aéreo no tripulado

2.3.1 Definición

Un Vant o mejor conocido como dron se define como un vehículo aéreo no tripulado que puede mantener un vuelo por mediante un control remoto y de esta manera ser controlado y sostenido. Es propulsado por motores y en la actualidad existen Vants que vuelan mediante herramientas como el GPS que genera una base de planos pre programados. A este tipo de vuelo se lo denomina autónomo (Bonanno, Gonzalez y Iaccarino, 2014, p.11)

2.3.2 Tipos de Vant

2.3.2.1 Ala Fija

Los tipos de drones con alas fijas, son aquellos que necesitan para poder despegar y aterrizar de una pista y debido a su eficiencia aerodinámica ofrecen una gran autonomía ya que pueden volar varias horas con una sola batería, además de que son altamente veloces. Es por esto que son excelentes para trabajos de mapeo de grandes extensiones de terreno. (Tello Vargas et al., 2019, p.29)



Figura 2-2. Vant de ala fija
Fuente: (Lance, 2014, p.6)

2.3.2.2 Ala Rotativa

Ala rotativa: Se los conoce también como multirrotores, no requieren de una pista de aterrizaje o despegue, pueden mantener un vuelo vertical y tienen la disponibilidad de soportar más carga útil, son muy versátiles ya que se les puede instalar varios equipos de trabajo como: cámaras, tanques, entre otros. Según el número de rotores que posee se le asigna su nombre. (Oviedo, 2016)

- **Tricóptero:** Un tricóptero se compone de tres ejes en donde se encuentran sus motores con sus respectivas hélices. Para poder generar su vuelo el tricóptero gira dos motores en dirección contraria a su tercer motor. (Ruipérez Martín, 2016, p.22)

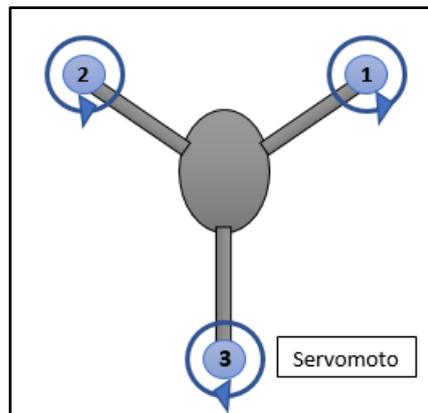


Figura 3-2. Tricóptero
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

- **Cuadricóptero:** Tiene cuatro ejes en donde se encuentran sus motores eléctricos de corriente continua y las hélices. Para poder generar su vuelo el cuadricóptero gira dos motores en dirección a las manecillas del reloj (CW) y dos motores en dirección contraria a las manecillas del reloj (CCW). Esto permite equilibrar la fuerza y llegar a un equilibrio. El aumento o disminución de las revoluciones en los motores provoca que el dron ascienda o descienda. (Ruipérez Martín, 2016, p.25)

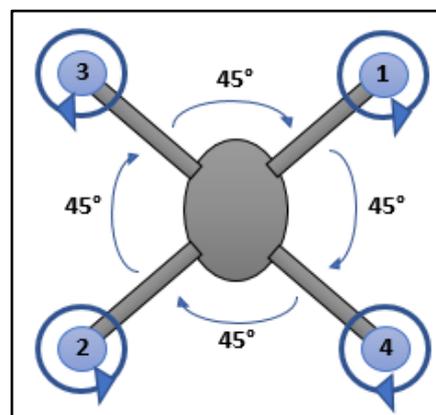


Figura 4-2. Cuadricóptero
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

- **Hexacóptero:** Se compone de seis ejes en donde se encuentran sus motores con sus respectivas hélices. Los principios de vuelo del hexacóptero son basados en los del cuadricóptero de la misma manera para poder generar su vuelo gira tres de sus motores en dirección a las manecillas del reloj y tres en sentido inverso a las manecillas del reloj y todos sus motores están ubicados en el mismo nivel. (Ruipérez Martín, 2016, p.29)

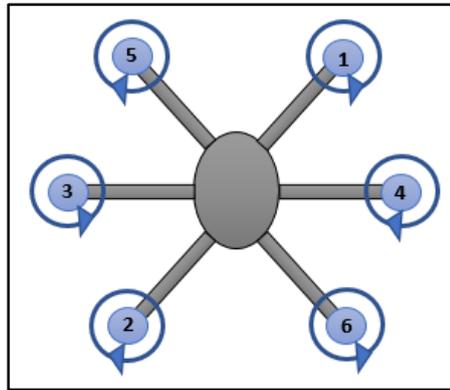


Figura 5-2. Hexacóptero
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

- **Octacóptero:** Tienen ocho ejes en donde se encuentran sus motores con sus respectivas hélices. Debido a la gran cantidad de motores que posee es perfecto para cargar mucho peso y permite que el ascenso sea de manera muy fácil. Basan su metodología de vuelo en los Cuadricópteros, es decir cuatro motores giran en sentido horario y cuatro motores giran en sentido antihorario, logrando de esta manera igualar las fuerzas y estabilizarlo para el vuelo. (Ruipérez Martín, 2016, p.31)

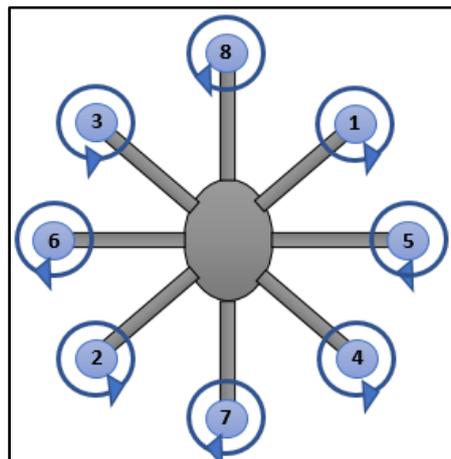


Figura 6-2. Octacóptero
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.3.3 Partes

2.3.3.1 Chasis

Se lo denomina también marco o frame, es el cuerpo del dron y se encuentra ubicado en el centro, da soporte a todas las piezas que van montadas sobre este y de donde emergen los ejes. (Pulecio, 2018)

Dentro de los materiales con los que generalmente se fabrican se encuentran el aluminio, plásticos, fibra de carbono, fibra de vidrio e incluso convenciones entre elementos como la fibra de vidrio con plásticos obteniendo de esta manera la misma resistencia en la estructura, pero con una reducción en el peso. (Guerra Jara, 2016, p.41)



Figura 7-2. Chasis de un Vant de 4 ejes
Fuente: (Moreno Moreno, 2019, p.22)

2.3.3.2 Motores

Los motores son los encargados de generar el movimiento de las hélices y propulsar el dron. Se usa un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas (brushless), para poder realizar el cambio de polaridad en sus bobinados. (Ruipérez Martín, 2016, p.33)



Figura 8-2. Motor brushless
Fuente: (Ruipérez Martín, 2016, p.33)

2.3.3.3 Hélices

Las hélices se sitúan sobre los motores, de manera que cuando los motores giran las hélices producen una fuerza de empuje, que es la que hace volar al dron. Las hélices tienen su propio perfil aerodinámico es decir su propia forma y curva, cada perfil aerodinámico tiene su propia manera de generar la fuerza y cortar el viento. Para mover la masa del aire y su propio peso, las hélices requieren de fuerza proporcionada por el motor, por lo que se tiene una relación directa entre las hélices y el motor, de modo que mientras más grande sea la superficie de la hélice más potente debe ser el motor. (Pulecio, 2018)

Se distinguen dos parámetros que indican su comportamiento:

- La longitud de la hélice que es la distancia entre punta y punta. Para generar un mayor empuje y soportar más carga, se necesita un mayor tamaño de hélice. (Ruipérez Martín, 2016, p.35)

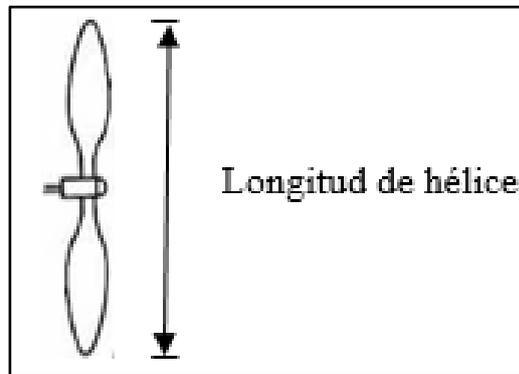


Figura 9-2. Longitud de hélice
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

- El paso de la hélice que es la distancia teórica que la hélice se mueve en una revolución completa a lo largo del eje de rotación. (Ruipérez Martín, 2016, p.35)

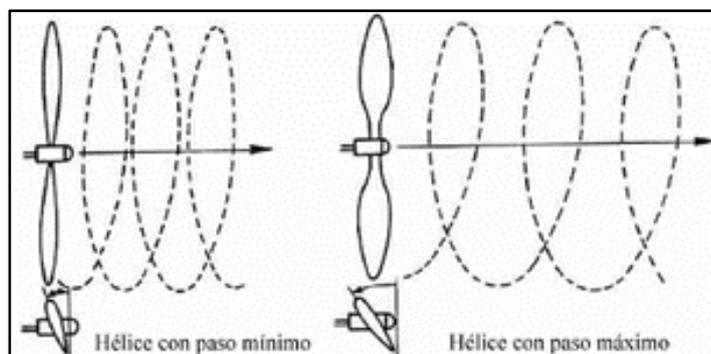


Figura 10-2. Paso de una hélice
Fuente: (Ruipérez Martín, 2016, p.35)

2.3.3.4 Placa controladora de vuelo

Es el cerebro del dron y se encarga de procesar toda la información que recibe de los sensores, del GPS, controla el giroscopio, acelerómetro y envía las órdenes a los motores para que puedan girar de manera adecuada para generar el movimiento deseado. (Ruipérez Martín, 2016, p.37)



Figura 11-2. Placa controladora de vuelo Pixhawk
Fuente: (Plaza, 2017, p.16)

2.3.3.5 Regulador de velocidad

También denominado ESC por sus siglas en inglés Electronic Speed Controller. Varía la velocidad del motor, su dirección y actúa como freno dinámico para hacer que los motores giren a la velocidad necesaria. Se compone de un circuito integrado que sirve de puente entre la nave, los motores y el controlador. Se conecta al controlador de vuelo por medio de tres cables, uno de ellos es el que envía la señal al controlador para el funcionamiento de cada motor, mientras que los otros dos cables son los encargados de proveer de alimentación. (Ruipérez Martín, 2016, p.34)



Figura 12-2. Regulador de velocidad
Fuente: (Ruipérez Martín, 2016, p.34)

2.3.3.6 Telemetría

Un módulo de telemetría permite el enlace entre la estación y el controlador de vuelo. Alcanza rangos de más de 300 metros, es ligera, pequeña y económica por lo que es perfecta para este tipo de aplicaciones. Existen dos diferentes bandas de módulos para la aplicación en drones, estos son 433Mhz y de 915Mhz. (Suqui y Paredes, 2019, p.25)



Figura 13-2. Módulo de telemetría

Fuente: (Suqui y Paredes, 2019, p.26)

2.3.3.7 Estación de control a tierra

La estación de control a tierra también llamada con GSC, está compuesta por dos partes, el hardware y el software. El hardware es cualquier dispositivo electrónico con el que el piloto controla el dron, mientras que el software mediante un enlace de comunicación permite la adquisición de datos que se visualizan en una interfaz de usuario tales como la altitud, la ubicación, el rumbo, el estado de la misión, entre otros. (Suqui y Paredes, 2019, p.26)



Figura 14-2. Estación de control a tierra

Fuente: (Suqui y Paredes, 2019, p.26)

2.3.3.8 Software de estación de control de tierra

El Software de estación de control de tierra es una interfaz de usuario que permite al piloto visualizar los datos de telemetría como la localización, altitud, velocidades horizontal y vertical, modo de vuelo, rumbo, etc. Además de que dispone de ciertas configuraciones para modificar diferentes calibraciones como la del sensor, radio, modos de vuelo, entre otras. (Suqui y Paredes, 2019, p.27)



Figura 15-2. Interfaz del software QGroundControl
Fuente: (Suqui y Paredes, 2019, p.27)

2.3.3.9 Batería

Las baterías alimentan a todos los componentes del Vant, se las denominan por su tensión nominal o clasificación S, es decir por el número de celdas que poseen. Los tipos de baterías recargables que más se usan para alimentar a los Vants son las baterías LiPo y las NiCd.

Las baterías LIPO tienen una tensión nominal de 3,7V o 4,2V por celda, dependiendo del número de celdas hay de diversos tamaños y voltajes. Mientras que las baterías NiCd tienen celdas con una tensión nominal de 1,2V. (Roche y Parra, 2019, p.21)

Tabla 2-2 Voltaje según el número de celdas en batería LiPo y NiCd

| Numero de Celdas | Voltaje (V) <i>LiPo</i> | Voltaje (V) <i>NiCd</i> |
|------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 S | 3.7 - 4.2 | 1,2 |
| 2 S | 7.4 - 8.4 | 2,4 |
| 3 S | 11.1 - 12.6 | 3,6 |
| 4 S | 14.8 - 16.8 | 4,8 |
| 5 S | 18.5 - 21 | 6 |
| 6 S | 22.2 - 25.2 | 7,2 |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.3.3.10 Máxima descarga

Para poder entender la máxima descarga es necesario tener en cuenta primero lo que es la tasa de descarga, CRating o Tipo C. Indica la velocidad de descarga segura de una batería, es decir que tan rápido circulan los iones desde el ánodo al cátodo. Si se tiene una batería con una tasa de descarga de 50C quiere decir que se descarga a un ritmo de 50 veces la capacidad de la batería. (Roche y Parra, 2019, p.22)



Figura 16-2. Batería LiPo
Fuente: (Roche y Parra, 2019, p.19)

2.4 Cultivo de papa

2.4.1 Generalidades

El cultivo de papa se encuentra extendido en gran parte de la región interandina en alturas que oscilan entre los 2000 msnm a los 3600 msnm, en suelos húmidos, francos, drenados y abastecidos de nutrientes y materia orgánica requiere de un suelo franco, drenados, húmidos y requiere un rango de temperatura de 6°C a 18°C con precipitaciones de 600 a 1200mm. (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.33)

2.4.2 Taxonomía

La papa es un dicotiledón, rastrero, con tallos leñosos y gruesos, con entrenudos cortos. Alcanza una altura de aproximadamente 0,60m y un ancho de entre 0.3m a 0.9m. Debido al continuo rebrote de los tubérculos se mantienen por períodos de 4 a 7 meses. (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.33)

Tabla 3- 2: Taxonomía de la planta de papa

| | |
|-----------|------------|
| Familia | Solanaceae |
| Género | Solánum |
| Subgénero | Potatoe |
| Sección | Petota |
| Serie | Tuberosa |

Fuente: (Pumisacho y Sherwood, 2002, p.33)

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.4.3 Morfología

Tabla 4-2: Morfología de la planta de papa

| Parte | Característica | Longitud | Forma | Color | Generalidades |
|------------|------------------------------------|-----------|--|---|--|
| Raíz | Fibrosas | ----- | Alargadas y finas | ----- | Tienen poco nivel de penetración |
| Tubérculos | Prolongación subterráneo del tallo | Variable | Redondos, acilindrados y alargados u ovalados, achatados, fusiformes | Blanco, amarillo, violeta, rojo oscuro, morado, púrpura o negro | Se originan en el extremo del estolón y tienen yemas y ojos |
| Tallos | Herbáceo | 0,3 – 1 m | Triangular y hueca | verde | De estos se desprenden tallos secundarios que dan pasos a más ramificaciones |
| Hojas | Bifaciales | ----- | Lanceolada | Verde | Se observa pelos en su superficie llamados tricomas |
| Flores | Hermafroditas | 3-4 cm | ----- | Blanco, amarillo, púrpura y rojo | Formados por 5 pétalos, nacen en racimos y son terminales |
| Fruto | ----- | 1-3 cm | Redondo u ovalado | Verde amarillento o castaño rojizo | Llamado baya, contiene un promedio de 200 a 300 semillas |

Fuente: (Martínez Reinoso, 2010, pp.7-11)

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.4.4 Plagas y Enfermedades

2.4.4.1 Principales plagas

Tabla 5-2: Plagas del cultivo de papa

| Nombre | Daños a la planta | | Tratamiento Químico | Dosis |
|----------------------------|--|--|---|--|
| Gorgojo de los Andes | Adultos | Se alimentan de las hojas | Insecticida Furadán | Al momento de la siembra Furadán 56: 50 – 60 kg/ha Al momento del brotamiento Furadán 4F: 1,5 – 2,0 l/200l de agua En plantas adultas se aplica en el follaje Furadán 4F |
| | Larvas | Realizan galerías irregulares en los tubérculos y son rellenas con sus excrementos | | |
| Polillas minadoras | Las larvas malogran el follaje, se introduce en el interior de los tubérculos cavando túneles. | | Insecticida Lannate y Ambush | Lannate 90 al 0,3 kg/ha Ambush 10cc al 0,05% |
| Gusano alambre | Las larvas se alimentan de las raíces y tubérculos | | Insecticida para espolvoreo Volaton y Lannate | Volaton 5% |
| Pulga saltona | Se alimenta de las hojas, produciendo varios agujeros. | | Insecticidas para aspersión como: Parathion, Guasathion | Parathon al 0,1% Gusathión al 20% |
| Nemátodo de Quiste de Papa | Ocasiona lesiones en las raíces y permite la penetración de la bacteria | | Carbonatun, Phenamiphos, Oxaryl, entre otros | ----- |

Fuente: (Cabrera y Ecobal, 2002, pp. 61-73)

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.4.4.2 Principales enfermedades

Tabla 6-2: Enfermedades del cultivo de papa

| Nombre | Síntomas | Tratamiento | Dosis |
|----------------------|--|---|---|
| La ranca | Las larvas malogran el follaje, se introduce en el interior de los tubérculos cavando túneles. | Insecticida Lannate y Ambush | Lannate 90 al 0,3 kg/ha Ambush 10cc al 0,05% |
| Marchitez bacteriana | Marchitez enanismo y amarillamiento del follaje | Insecticida para espolvoreo Volaton y Lannate | ----- |

Fuente: (Cabrera y Ecobal, 2002, pp.74-82)

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.4.5 Aplicación de funguicidas y plaguicidas

La aplicación en un cultivo de papa, se realiza dependiendo del tipo de plaga o enfermedad, para esto existen varios plaguicidas o funguicidas que, según su composición actúan de diferentes maneras, entre uno de ellos se encuentran los productos que se aplican a través de una película sobre el follaje de las plantas de papa llamados productos sistémicos y son absorbidos luego de su aplicación por las raíces y las hojas e ingresan al interior de la planta brindando una completa protección tanto en las partes aéreas como en las que se encuentran debajo del suelo.(Aldás, 2013)

2.4.6 Distancia de Siembra

La distancia de siembra depende del tamaño deseado del tubérculo y su variedad.

2.4.6.1 Distancia Amplia

Surcos entre 1.10 m – 1.20 m, favorece al descarte de las plantas no deseadas además de evitar que los instrumentos de labranzas dañen a las raíces, tubérculos y las plantas durante el cultivo.(Cabrera y Ecobal, 2002, p.44)

2.4.6.2 Distancia Angosta

Surcos entre 0,80 m – 0,90m, incrementa la eficiencia del terreno por mayor iluminación, agua y nutrientes, asimismo permite que el agua de riego alcance con mayor facilidad a las raíces.(Cabrera y Ecobal, 2002, p.44)

2.4.7 Densidad de siembra

Guarda estrecha relación con la fertilidad del suelo, capacidad de retención de humedad del suelo, clima y la variedad del tubérculo. (Cabrera y Ecobal, 2002, p.44)

En la zona de la serranía la distancia de siembra más usada para variedades con estolones largos y de gran área foliar, es de 0,40m entre plantas y de 1m entre surcos. Para variedades precoces, es de 0,30m entre plantas y de 0,90m entre surcos. (Cabrera y Ecobal, 2002, p.45)

- **Distancia entre surcos**

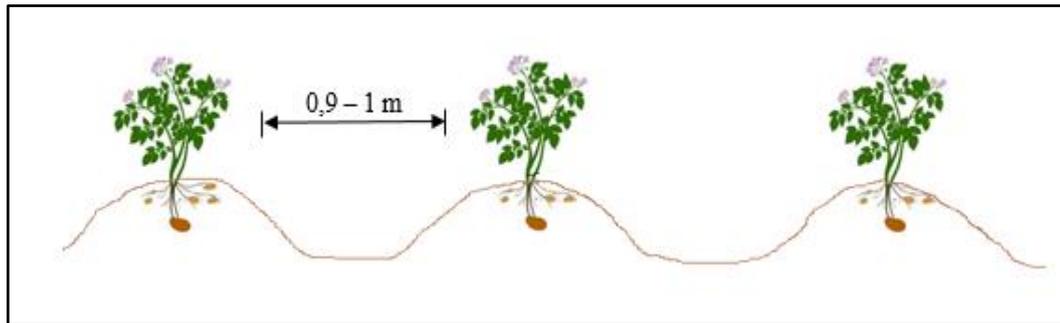


Figura 17-2. Distancia entre surcos en un cultivo de papa

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

- **Distancia entre plantas**

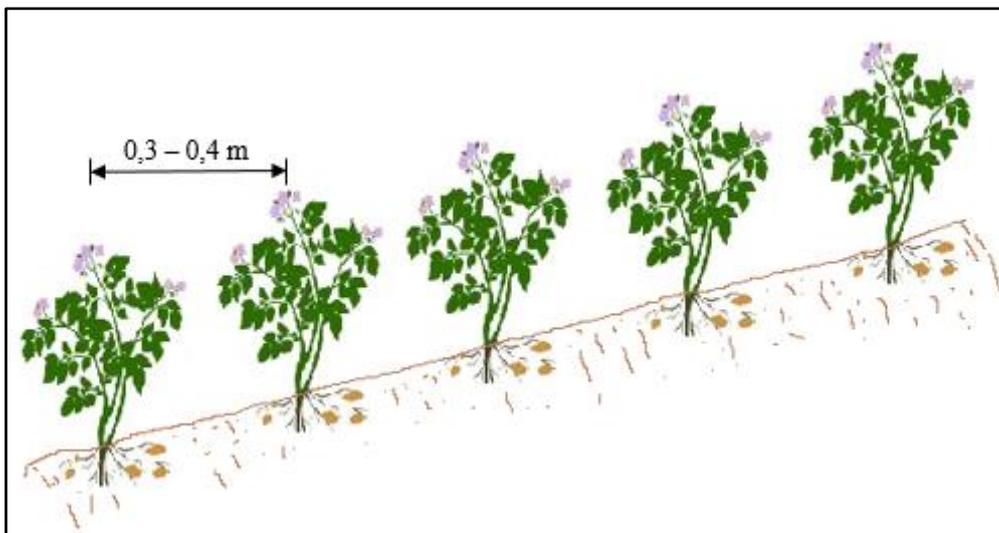


Figura 18-2. Distancia entre plantas en un cultivo de papa

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.5 Software

2.5.1 SolidWorks

SolidWorks es un modelador de sólidos paramétrico asistido por computadora desarrollado por SolidWorks Corporation para el sistema operativo Windows. Funciona en base a las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD, permitiendo el modelamiento de piezas y la extracción de planos técnicos (que se realiza de manera automática) así como toda la información necesaria para la producción. (Toapanta Cunalata, 2015, p.23)

2.5.1.1 Definición

Mission Planner es un software libre de estación de control a tierra, que se puede adquirir fácilmente en internet para APM (proyecto de piloto automático) Arduplane, ArduCopter, ArduRover y de la serie Pixhawk y es únicamente compatible con las diferentes versiones de Mac Os y Windows. (Cabreja López, 2017, p.12)

2.5.1.2 Interfaz

La interfaz gráfica de usuario del software conocido como GUI por sus siglas en inglés (The Graphical User Interface) está formado por dos elementos: la venta de mapa y la barra de herramientas; La ventana principal muestra el globo terráqueo en 3D, la trayectoria planificada y entidades extras y la barra de herramientas está ubicada alrededor de la ventana principal y sirve para configurar los parámetros de misión.(Gandor, Rehak y Skaloud, 2015, p.62)

2.5.1.3 Planificación general

Una vez seleccionado el área a ser escaneada, el usuario puede escoger una cámara y un dispositivo RPAS o escogerlo desde alguna plataforma. El usuario puede escoger entre: el patrón de vuelo alternativo, como se muestra en la figura 21-1 y el llamado curva de suavizado, este último agrega un poco de puntos de ruta a cada línea para respetar el radio de giro y guiar mejor el plano a la línea siguiente. El plan de trayectoria es calculado automáticamente. (Gandor, Rehak y Skaloud, 2015, pp.63-64)

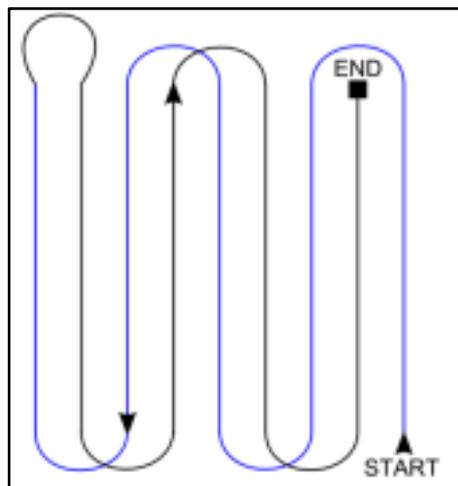


Figura 19-2. Patrón de vuelo alternativo
Fuente: (Gandor, Rehak y Skaloud, 2015, pp.63-64)

2.5.1.4 Vuelo multi-nivel

Se usa especialmente en colinas o terreno montañoso, ya que asegura una resolución unificada en toda el área de mapeo. La altura se calcula en relación con el terreno o con la altitud de la posición inicial. A continuación, el nivel de altura de la base se acompaña de un segundo nivel que se coloca encima con orientación perpendicular al primer nivel. La separación entre ellos se calcula en relación con la resolución deseada, por lo que la resolución promedio prevista se mantiene para toda el área. (Gandor, Rehak y Skaloud, 2015, p.64)

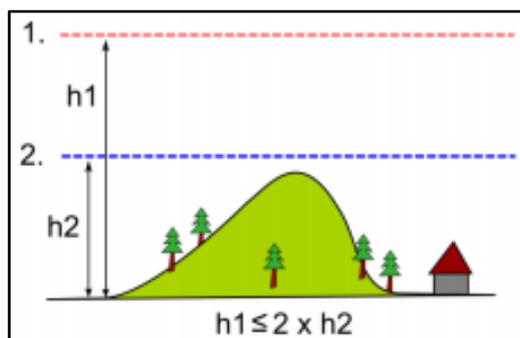


Figura 20-2. Vuelo Multi-nivel

Fuente: (Gandor, Rehak y Skaloud, 2015, pp.63-64)

2.5.1.5 Planificación de una misión con punto de referencia

Se establece la posición inicial donde el Vant está situado o armado, para un helicóptero o el módulo ArduCopter, mientras que la posición inicial para un avión o el módulo ArduPlane será el punto de ubicación donde el GPS se bloqueó, en otras palabras, se debe encender el Vant en el punto donde quiera que sea su posición inicial y armarlo con el Mission Planner. (Cabreja López, 2017, p.13)

2.5.1.6 MAVLink

MAVLink es un protocolo de comunicación diseñado para intercambiar información mediante un canal de transmisión serial entre un sistema de control de tierra (GCS) y un UAV, mediante este se transmite la velocidad, ubicación, orientación del Vant, entre otros. (Orocio, 2019, p.42)

En la figura 23-1, se puede apreciar el esquema de conexión física que se puede realizar por un medio de comunicación que permita la transferencia de mensajes entre ambos dispositivos.



Gráfico 1-2: Esquema de conexión mediante protocolo MAVLink

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

La comunicación en el protocolo MAVLink se basa en los protocolos CAN bus, se realiza mediante paquetes, que son mensajes que contienen una secuencia codificada de bytes. El paquete se divide en 7 grupos donde la longitud mínima sin carga es de 8 bytes y la longitud máxima del paquete es de 263 bytes. Tiene tres componentes que son la cabecera, el payload que es el contenido útil y el checksum que es la suma de verificación.(Casado Reina, 2017, p.40)

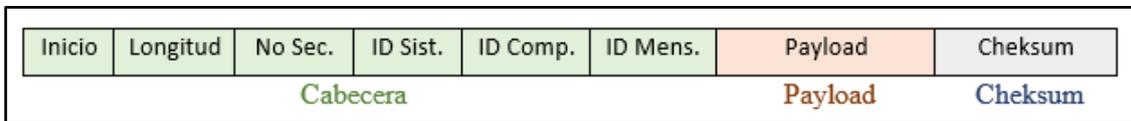


Figura 21-2. Partes del paquete del protocolo MAVLink

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Tabla 7-2: Componentes del paquete del protocolo MAVLink

| Nombre | Componentes | Bytes | Descripción |
|----------|-----------------|--------|---|
| Cabecera | Inicio | ----- | Indica el comienzo de la transmisión del mensaje |
| | Longitud | 0-255 | indica el número de bytes que se van a enviar como payload es decir la carga útil |
| | Nº de secuencia | 0- 255 | Indica el número de paquete enviado, además de detectar la detección de un paquete perdido |
| | ID Sistema | 1-255 | Es la identificación del sistema de envío, para diferenciar varios sistemas en la misma red |
| | ID Componente | 0-255 | Es la identificación del componente, para diferenciar varios componentes en la misma red |
| | ID Mensaje | 0-255 | Indica el tipo de mensaje enviado donde se indica como leer y decodificar la carga útil del mensaje |
| Payload | ----- | 0-255 | Contiene los datos que se quiere transmitir, es llamado también carga útil |
| Checksum | ----- | ----- | Se usa para el control de errores en la formación y transmisión del mensaje |

Fuente: (Marty, 2013,p.17)

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

2.6 Normas Aplicadas

Para la implementación de un sistema de fumigación en un vehículo aéreo no tripulado, se maneja dispositivos de uso delicado, además de productos que pueden ser perjudiciales para salud, por lo que se tiene presente el cumplimiento de varias normas de los siguientes reglamentos.

Reglamento General de Plaguicidas y Productos Afines de uso Agrícola, que plantea:

“Art. 32.- Aplicaciones aéreas.« Las Empresas de Sanidad Vegetal y los agricultores en general no podrán hacer aplicaciones aéreas en las que se utilicen plaguicidas extremada y altamente tóxicos o peligrosos para el hombre, animales y cultivos agrícolas” (Duran, 1993, p.8)

“Art. 38.- Equipos para el empleo de plaguicidas.- Para el empleo de plaguicidas deberán usarse equipos en perfecto estado de funcionamiento, de modo que no presenten riesgos para la salud del operario y eviten fugas que pueden causar daño” (Duran, 1993, p.9)

“Art. 47.- Áreas escolares o pobladas. ·Las Empresas de Sanidad Vegetal no podrán efectuar aplicaciones en Áreas escolares o pobladas.”(Duran, 1993, p.11)

Como también se tomó en cuenta algunas normas de la Resolución de Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R puestas por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), que dice:

“Art. 2.- Altura máxima de vuelo. - La operación de las RPAS/UAS no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (AGL)” (Molina Moscoso, 2017, p.36)

Art. 3.- Horas de operación. - Las RPAS/UAS serán operadas solamente en las horas comprendidas entre la salida y la puesta del sol; y en condiciones meteorológicas de vuelo visual (VMC), libre de nubes, neblina, precipitación o cualquier otra condición que obstruya o pueda obstruir el contacto visual permanente con la RPAS/UAS.” (Molina Moscoso, 2017, p.p36-37)

“Art. 5.- Integridad fisiológica del operador de una RPA. - Ninguna persona operará los controles de una RPAS/UAS si: a) Se encuentra fatigado, o si considera que pudiera sufrir los efectos de la fatiga durante la operación b) Se encuentra bajo el efecto del consumo de bebidas alcohólicas, o de cualquier droga que pudiera afectar sus facultades para operar los controles de manera segura”(Molina Moscoso, 2017, p.37)

“Art. 6.- Funciones de automatización. - Si las RPAS/UAS tienen la capacidad de realizar vuelo automático, esta función podrá ser utilizada solamente si le permite al operador de los controles intervenir en cualquier momento para tomar el control inmediato de la aeronave.” (Molina Moscoso, 2017, p.38)

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta los requerimientos de la arquitectura tanto de hardware y software de la Implementación de un sistema autónomo de fumigación para cultivo de papa mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado. Se detalla cada etapa que permite cumplir con el ciclo de vida del proyecto y de sus objetivos. Se especifica finalmente que la propuesta se destinará para uso exclusivo del cultivo de papa y que a partir de este punto se lo llamará Sistema AFPV.

La metodología usada para el Sistema AFPV. está basada en el proceso del libro Diseño de maquinaria NORTON, el cual se modificó para uso exclusivo de esta investigación. Es una metodología que basa su diseño en 9 fases. Como se muestra en el gráfico 1-3.

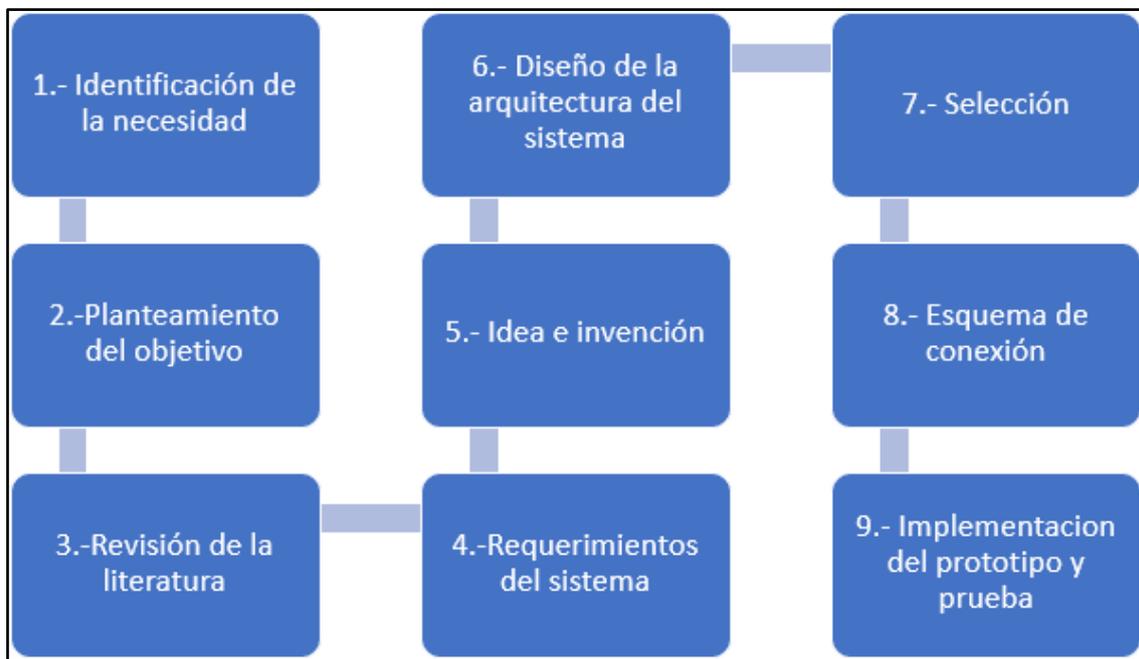


Gráfico 1-3: Metodología usada para el desarrollo de la investigación

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Las fases número uno, dos y tres de la metodología ya fueron desarrolladas en el primer capítulo.

3.1 Requerimiento del sistema

Después de realizar el estudio del sistema de fumigación, así como los tipos de vehículos usados para este fin, se puede definir los requerimientos para el sistema, los que son:

- El sistema de fumigación debe garantizar una cobertura adecuada de la planta.
- El Sistema AFPV debe ser capaz de realizar la fumigación autónoma.
- El Vant debe tener una comunicación constante con la estación remota a tierra.
- La alimentación del sistema debe garantizar un funcionamiento como mínimo de 4 min

- El dispositivo debe ser de fácil movilidad y montaje.

3.2 Idea e innovación

Una vez teniendo claro los requerimientos del sistema de vuelo para fumigación, se realiza una concepción general de su arquitectura, que se puede observar en el gráfico 2-2.

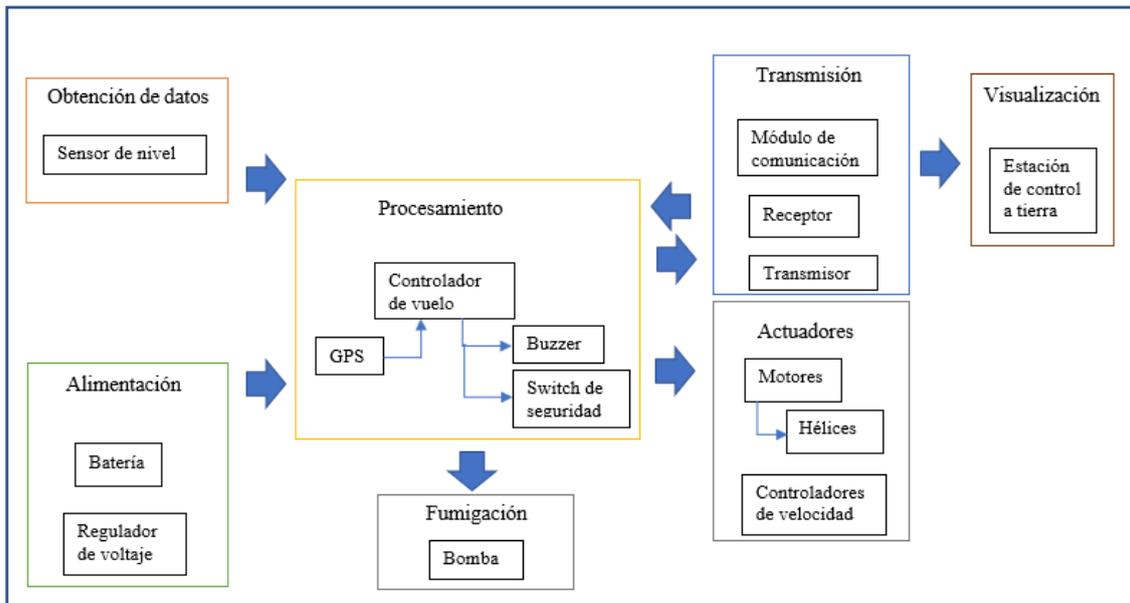


Gráfico 2-3: Arquitectura del Sistema AFPV

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.3 Diseño de las etapas de la arquitectura del sistema

Como se puede observar en el gráfico 2-2 para realizar la implementación del Sistema AFPV y tener una mejor comprensión se dividió al sistema en diferentes etapas, las que se detallan a continuación.

3.3.1 Etapa de fumigación

Esta etapa recibe las señales de la tarjeta de desarrollo para ser receptadas por la bomba y mediante las tuberías y el aspersor realizar el riego.

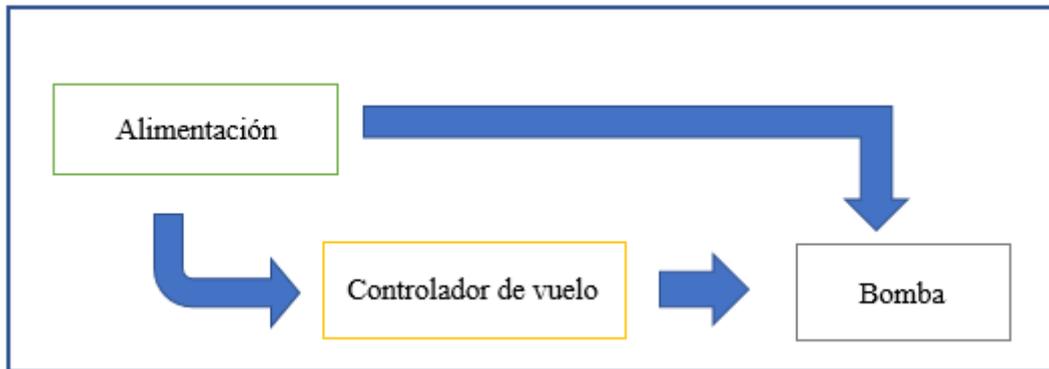


Gráfico 3-3: Etapa de fumigación
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.3.2 Etapa de obtención de datos

En esta etapa se reciben las señales emitidas por los sensores para posteriormente en la fase de procesamiento ser transformados en valores que permitan saber cuándo el tanque está cerca de ser vaciado. En el gráfico 4-2, se muestra el diagrama de bloques de la etapa de obtención de datos.

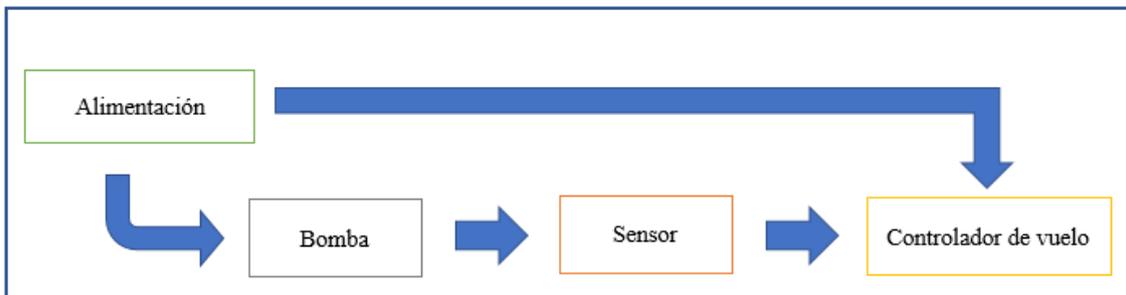


Gráfico 4-3: Etapa de obtención de datos
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.3.3 Etapa de alimentación

Es la etapa encargada de proveer de energía a todo el prototipo, además de la batería se compone de un regulador de voltaje para estabilizar las tensiones, con el que los componentes electrónicos tales como la tarjeta de desarrollo, sensores, entre otros puedan soportar.

3.3.4 Etapa de procesamiento

Las señales que se reciben del sensor junto con las del módulo de comunicación, son procesados en esta etapa por el controlador de vuelo para posteriormente ser transformadas en señales de

salida y enviadas a los diferentes actuadores para proporcionar al prototipo de movimiento y de para realizar la aspersión.

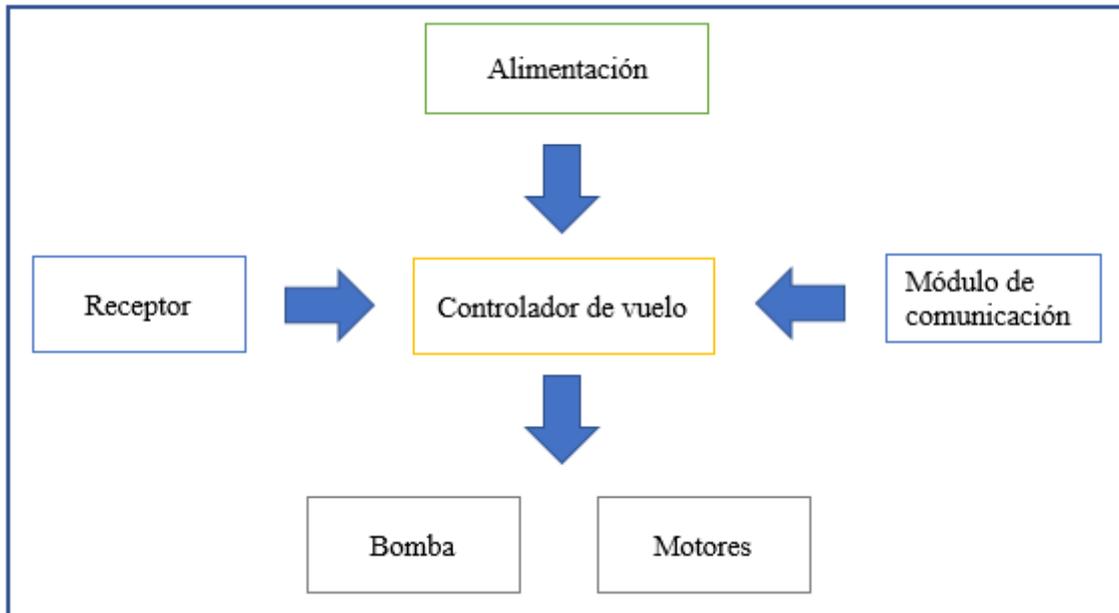


Gráfico 5-3: Etapa de procesamiento
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.3.5 *Etapa de transmisión*

Una vez procesada la señal de los sensores en el microcontrolador son transmitidos al GSC mediante una comunicación inalámbrica; Se lo realiza mediante un módulo de telemetría, que emiten los datos de manera bidireccional por medio de una conexión serial.

3.3.6 *Etapa de actuadores*

Las señales de salida que se envían desde el microprocesador son receptadas por los actuadores tales como: los motores y que a su vez transmiten la energía a las hélices, los controladores de velocidad y la bomba, los que permiten que el Sistema AFPV realice la fumigación autónoma.

3.3.7 *Etapa de visualización*

Los datos transmitidos desde el sistema son recibidos y enviados al GSC. La recolección de datos es en tiempo real, con el software libre Mission Planner, en el que se pueden observar los datos

que son recogidos en el sistema de vuelo, para ello fue necesario un sistema de comunicación en radiofrecuencia.

3.4 Selección de componentes del sistema

Teniendo conocimiento de las necesidades requeridas por el sistema se selecciona de manera cuidadosa los elementos a implementar en el Vant. De esta manera se evita cometer errores tanto en el dimensionamiento como en el diseño de los componentes.

El criterio de selección usado fue la comparación entre dispositivos con características semejantes que se ofertan en el mercado, así como también las recomendaciones del fabricante.

3.4.1 Sensor de nivel flotador T36

EL sensor de nivel flotador T36 actúa como un switch o interruptor, es decir cuando el nivel de agua aumenta activa en alto al sensor, caso contrario se encontrará en estado bajo, su estructura es de plástico por lo que tiene un peso ligero, es de fácil instalación, interpretación, manejo y de alta confiabilidad, es muy usado en tanques, cisternas, entre otros. En la tabla 1.2, se muestran sus características principales

Tabla 1-3: Características técnicas del sensor flotador T36

| CARACTERISTICAS | |
|-------------------------------|----------------|
| Potencia máx. | 10 W |
| Corriente máx. de conmutación | 0.5 A |
| Voltaje de operación | 0-100 Vdc |
| Dimensiones | 1.56 x 0.86 in |
| Peso | 6.88 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 1-3. Sensor de nivel flotador T36

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se elige este sensor debido a que presenta la forma y el tamaño que el tanque precisa.

3.4.2 Bomba de presión de agua sumergible

En el mercado existen diferentes modelos de bombas que se pueden usar para este fin. En la tabla 2.2 se presentan las características de las bombas que se encuentran comúnmente.

Tabla 2- 3 : Tabla de comparación entre las características técnicas de las bombas: de diafragma, Anself y RS-3600H

| CARACTERISTICAS | | | |
|-----------------------------|---|--|---|
| Bomba | Bomba de diafragma R385 | Micro bomba Anself | RS-360SH |
| Imagen |  |  |  |
| Voltaje de operación | 6-12 Vdc | 6 – 12 Vdc | 3- 12 Vdc |
| Voltaje nominal | 7.2 V | 9V | 7.2V |
| Corriente | 0.75A | 0.96 A | 1.7 A |
| Caudal | 1.5 – 2 l/min | 4 l/min | 1.4 – 2 l/min |
| Diámetro exterior de salida | 8.5 mm | 8.6 mm | 4 mm |
| Sumergible | Si | Si | No |
| Dimensiones | 90 x40 35 | 52 x 56 x 55 | 42 x 45x 65 mm |
| Peso | 109 g | 68.3 g | 106 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede apreciar en la tabla 2.2, la micro - bomba Anself ofrece el caudal suficiente para la pulverización del producto en el follaje de las plantas de papa además de que sus dimensiones y su peso son menores en comparación con las otras bombas, es de fácil adquisición y bajo costo. Por lo que es la mejor opción para el sistema de pulverización.

3.4.3 Tanque de almacenamiento de líquido

El tanque almacena el líquido con el producto fitosanitario, generalmente son fabricados en plástico en un sin fin de formas y capacidades, cabe mencionar que como los plaguicidas que se usan para este tipo de cultivo no son de gran densidad, por lo que se ocupan tanques de plástico comunes.

El Sistema AFPV constará de un tanque con las características que se especifica en la Tabla 3.2

Tabla 3-3 : Características técnicas del tanque

| CARACTERISTICAS | |
|-----------------|------------|
| Capacidad | 500 ml |
| Material | Plástico |
| Forma | Cilíndrico |
| Peso | 34 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

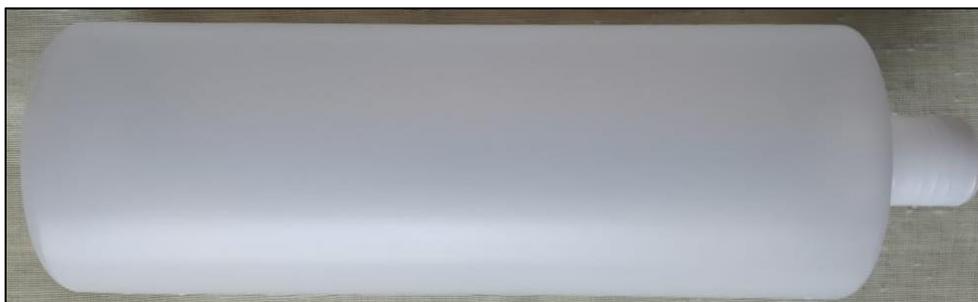


Figura 2-3. Tanque de almacenamiento del líquido

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Debido a que, cuando el Vant se encuentra en movimiento, el líquido se balancea de un lado a otro produciendo perturbaciones en la estabilidad, es por esto, que en el interior del tanque se coloca tres rompeolas de plástico con la forma como se muestra en la figura 3-2, de esta manera se divide al tanque en cuatro secciones más pequeñas, lo que produce que las perturbaciones sean más reducidas.



Figura 3-3. Rompeolas

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.4.4 Conducto de agua

El conducto por el que será llevado el producto fitosanitario desde el tanque reservorio hasta la bomba será una manguera de goma que se usa para nebulizar, con un diámetro, similar al grosor de salida de la bomba.

Tabla 4-3 : Características técnicas del conducto de agua

| CARACTERISTICAS | |
|-----------------|--------|
| Diametro | 8.5 mm |
| Material | goma |
| Peso | 6.42 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 4-3. Conducto de agua

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.4.5 Boquillas de aspersión

Tabla 5- 3 : Tabla de comparación entre las características técnicas de las boquillas: Nebulizador, micro JET II y Rondo

| CARACTERISTICAS | | | |
|------------------------------|---|--|---|
| Tipo de Boquilla | Nebulizador | Micro JET II | Rondo |
| Imagen |  |  |  |
| Caudal | 0.6 lph | 14.21 lph | 47 lph |
| Diámetro de aspersión a 1 m. | 1 m | 2.62 m | 80 - 1.2 m |
| Forma de aspersión |  |  |  |
| Peso | 3.16 g | 0.52 g | 4.20 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se decide usar la boquilla Rondo que a pesar la mas pesada, tiene el ancho de pulverización y la forma de aspersión ideal para la aplicación en el sistema.

3.4.6 Pixhawk 2.4.8

Es un controlador de vuelo de hardware libre, que facilita la interconexión de cámaras y pilotos automáticos además de proporcionar una interfaz gráfica de usuario para el GSC, permite el control de variables como altitud, posición, así como la navegación. (Meier et al., 2011, p.14)

Tiene incorporado un autopiloto que va a ser capaz de programar vuelos sin necesidad de un supervisor o piloto y en caso de batería baja, o de pérdida de enlace de radio, el Vant podrá llegar al punto que quedó grabado en el GPS al momento del despegue. En la tabla 6.2, se describe sus principales características.

Tabla 6-3 : Características técnicas del controlador de vuelo Pixhawk 2.4.8

| GENERALES | |
|---------------------------------------|------------------|
| Dimensiones | 81.5 x50x15.5 mm |
| Peso | 39 g |
| Salidas PWM | 14 |
| Puertos UART | 5 |
| Comunicación | 12C |
| Puerto micro USB externo | 1 |
| Puerto para tarjeta micro SD | 1 |
| Entrada | 3.3 V y 6.6 V |
| Corriente | 50 mA |
| Señal PPM | |
| Salida protegida contra sobre tensión | |
| MICROPROCESADOR | |
| Procesador | 32 bits |
| Memoria RAM | 256 Kb |
| Memoria flash | 2 Mb |
| Procesador | STM32F427 |
| Frecuencia | 168MHz |
| SENSORES | |
| Giroscopio de 3 ejes | |
| Acelerómetro 3 ejes | |
| Magnetómetro (Brújula) | |
| Acelerómetro de 6 ejes (Brújula) | |
| Barómetro de alta precisión | |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 5-3. Pixhawk 2.4.8
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se escoge este controlador de vuelo por su fácil configuración, además permite al usuario realizar vuelos autónomos guiados por GPS, lo que es importante para la fumigación, por otra parte, para el sistema en general es de vital importancia minimizar el peso de los componentes y este presenta una gran ventaja por su peso ligero.

3.4.7 Módulo de transmisión de datos 3DR

Los módulos de telemetría enlazan al Vant con el GSC, son de bajo costo, pequeños, ligeros y fáciles de usar, usan firmware de código abierto. Las frecuencias más usadas son de 433 y 915 Mhz. Tienen un alcance de varios km, además de que no necesita arquitectura de soporte.

Tabla 7-3 : Características técnicas del módulo de transmisión de datos 3DR

| CARACTERISTICAS | |
|---|-----------------------|
| Frecuencia | 915 Mhz |
| Potencia de transmisión | 20 dBm (100 MW) |
| Sensibilidad del receptor | -118 dBm |
| Corriente | 25 mA |
| Protocolo | MAVLink |
| Interfaz | Estándar TTL UART |
| Dimensiones del módulo de aire de radio telemetría | 2.01 x 1.18 x 0.39 in |
| Dimensiones del módulo de suelo de radio telemetría | 2.75 x 0.98 x 0.47 in |
| Peso del módulo de aire de radio telemetría | 11.91 g |
| Peso del módulo de suelo de radio telemetría | 15.03 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 6-3. Módulo de tierra de radio telemetría
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 7-3. Módulo de aire de radio telemetría
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se trabaja con el módulo de telemetría debido a que el firmware es de código abierto por lo que provee al usuario una gran cantidad de usos, además del alcance que presenta y la sensibilidad de recepción, que para el Sistema AFPV es muy importante para el cumplimiento de las misiones autónomas.

3.4.8 Módulo GPS Ublox Neo M8N

El módulo GPS de la serie Neo permite el seguimiento de trayectorias para vuelos autónomos, presenta una gran confiabilidad en la precisión en la navegación que es de casi 0,9 metros más que la generación anterior Neo 7N. Se encuentra pre configurado para uso con el controlador de vuelo Pixhawk. En la tabla 8.2, se describe sus principales características.

Tabla 8-3 : Características técnicas del módulo GPS Ublox Neo M8N

| CARACTERISTICAS | |
|----------------------------|---------------|
| Sensibilidad de navegación | -167 dBm |
| Inicio en frio | 26 s |
| Velocidad de actualización | 0.25Hz - 10Hz |
| Regulador de voltaje | 3 V |
| Corriente | 23 mA |
| Máxima precisión | 0.6 m |
| Diámetro | 60 mm |
| Peso | 32 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 8-3. Módulo GPS Ublox Neo
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se escogió el módulo GPS Ublox Neo M8N ya que presenta alta precisión en la navegación, bajo consumo de energía y por su fácil incorporación y configuración con el controlador de vuelo seleccionado anteriormente.

3.4.9 Transmisor RC FlySky Fs-i6X

Este tipo de transmisor es muy cotizado por los usuarios, debido a que ofrece una mayor protección contra las interferencias, pero sin consumir más energía, tiene una gran sensibilidad con el receptor es capaz de enviar y recibir datos, además de que ofrece una conexión segura y confiable. Se compone de dos partes el control remoto y el receptor que va ubicado en el VANT.

Tabla 9-3 : Características técnicas del Control Remoto y Receptor FlySky Fs-i6X

| CARACTERISTICAS | |
|-----------------|------------------------|
| CONTROL REMOTO | |
| Rango de Rf | 2.408 – 2.475 GHz |
| Potencia de RF | < 20 dBm |
| Canales | 10 PWM, 8PPM, 18 i-BUS |
| Voltaje | 4 – 6.5 V |
| RECEPTOR | |
| Corriente | 25 mA |
| Peso | 10 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se elige este transmisor debido a que soporta el protocolo de comunicación PPM que también usa el controlador de vuelo previamente seleccionado, lo que la comunicación será mucho más fácil.

3.4.10 Frame Tarot 650 fibra de Carbono 4 ejes

Tiene una placa PCB de alta resistencia, con un circuito integrado para conectar de manera más cómoda y segura la alimentación y los ESC, está diseñado de tal manera que brinda el espacio suficiente para instalar los componentes electrónicos y accesorios. Está fabricado en fibra de carbono que es un material que se caracteriza por ser ligero, tener alta resistencia y gran rigidez, lo que hace al frame resistente a caídas y goles. (Beber, 2003, pp.25-26). En la tabla 10.2, se describe sus principales características.

Tabla 10-3 : Características técnicas del frame Tarot 650

| CARACTERISTICAS | |
|----------------------------------|-----------------|
| Motores recomendados | 320 KV |
| Hélices recomendadas | 12in a 15 in |
| Diámetro de distancia entre ejes | 600 mm |
| Dimensiones | 12.2x7.9x2.2 in |
| Peso | 750 g |
| Diseño totalmente plegable | |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 9-3. Frame Tarot 640 Fibra de Carbono

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se escoge este frame debido a la portabilidad, resistencia y ligereza del material de fabricación además de que tiene el espacio necesario para la conexión de los componentes.

3.4.11 Motor brushless

Este tipo de motores son los más usados en Vant's, sus características los hacen más eficientes y tienen una vida útil más larga, además su estructura física los hace de fácil montaje.

Tabla 11-3 : Características técnicas del Motor Brushless

| CARACTERISTICAS | | |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Características | Motor 620KV | Motor 320KV |
| KV | 620RPM | 320RPM |
| Resistencia del motor | 0,0765 | 0,18 ohm |
| RPM | 10000 | 15000 |
| Voltaje de alimentación | 14.8 V | 22,2V |
| Corriente | 0.8A/10V | 0.5 A/10V |
| Máxima Corriente | 30A | 18A |
| Máxima Potencia | 465W | 450W |
| Batería recomendada | 3S-4S | 3s-6s |
| Diámetro | 33,4mm | 47mm |
| Peso | 112g | 151g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 10-3. Motor brushless 320KV

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se escoge los motores 320KV ya que son los recomendados por los fabricantes del frame TAROT y debido a sus características son perfectos para este tipo de sistema.

3.4.12 ESC BLHeli 40 A

El control electrónico de velocidad o Electronic Speed Controller como sus siglas lo indican es el encargado de regular la velocidad para los motores sin escobillas. Su diseño brinda una reacción suave del acelerador, provee de mayor rendimiento a los Multirrotores y tiene una operación silenciosa, es de fácil instalación debido a su bajo peso y pequeño tamaño. (Suqui y Paredes, 2019, pp.43-44)

En la tabla 12-3 Se describe sus principales características.

Tabla 12-3 : Características técnicas del controlador de velocidad ESC BLHeli 40 A

| CARACTERISTICAS | |
|----------------------|--|
| Corriente continua | 40 A |
| Bateria recomendada | 3s - 6s |
| Corriente de consumo | 50 mA |
| Protocolo soportado | Oneshot125 (125-250us), Oneshot42 (41.7-83.3us) y Multishot (5-25us) |
| Peso | 7 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 11-3.ESC BLHeli 40A

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se seleccionó este ESC debido a su firmware BLHeli 40A, que proporciona protocolos para una aceleración y desaceleración casi inmediata. Además de que tiene el amperaje requerido para el manejo de los motores.

3.4.13 Bateria Lipo HRB 6000mAh

Las baterías de HRB se centran únicamente para el suministro de energía de UAV, drones y UAS, brinda una mejor experiencia de vuelo, tienen un alto rendimiento, muy buena consistencia, tiene una larga vida útil.

Tabla 13-3 : Características técnicas de la Bateria LiPo HRB 6000mAh

| CARACTERISTICAS | |
|--------------------------|-----------------------|
| Material | Polímero de Litio |
| Voltaje | 22.2 V |
| Configuración | 6S1P |
| Voltaje por celda | 3.7 V |
| Máximo voltaje por celda | 4.2 V |
| Capacidad | 6000 mAh |
| Descarga | 50C |
| Enchufe | XT90 |
| Dimensión | 6.12 x 1.89 x 2.16 in |
| Peso | 862.96 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 12-3. Bateria LiPo HRB
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Para realizar el calculo del tiempo de vuelo, es necesario conocer la capacidad de la bateria y el consumo de corriente total, valor que se obtiene en la tabla 14.2.

Tabla 14-3 : Consumo de Corriente Total del Sistema AFPV

| ELEMENTO | CONSUMO DE CORRIENTE |
|------------------------------|----------------------|
| Bomba | 960 mA |
| Controlador de vuelo Pixhawk | 50 mA |
| Módulo de telemetría | 25 mA |
| GPS | 25 mA |
| Motores | 36A |
| ESC | 200 mA |
| Receptor | 25 mA |
| Corriente Total | 37.28 A |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

$$T_{\text{tiempo de vuelo}} (h) = \frac{\text{Capacidad de la batería (A/h)}}{\text{Corriente del sistema (A)}} \quad \text{Ecu. 1.2}$$

$$T_{\text{tiempo de vuelo}} (h) = \frac{6 \text{ A/h}}{37.28 \text{ A}} = 0.16 \text{ h} \quad \text{Ecu. 2.2}$$

Se realiza la conversión de la respuesta en la Ecu. 2.3, a minutos.

$$\frac{0.16 \text{ h} * 60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 9.66 \text{ min} \quad \text{Ecu. 3.2}$$

Por el resultado de la Ecu. 3., la batería proporciona 9.66 min de vuelo, de esta manera se cumple con el requerimiento de la alimentación eléctrica para el sistema, donde se pide que garantice 4 min de vuelo.

3.4.14 Hélices TL2831 15 X 5.5

Las hélices transforman la potencia del motor a fuerza de empuje por lo que son las encargadas de desplazar el aire y propulsar el Vant,

Las hélices Tarot 15 x 5.5 tienen un ángulo de inclinación que mejora la fuerza general y aumenta el efecto de la cuchilla. Están fabricadas en fibra de carbono lo que las hace livianas y resistentes a golpes.

En la tabla15-3, se presentan las características técnicas de las hélices seleccionadas.

Tabla 15-3 : Características técnicas de las hélices TL2831 15 X 5.5

| CARACTERISTICAS | |
|-----------------|------------------|
| Material | Fibra de carbono |
| Longitud | 15 in |
| RPM | 7000 |
| Empuje | 1800 g |
| Peso | 23.58 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021



Figura 13-3. Hélices TL2831

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se selecciona estas hélices debido a que son compatibles con el modelo de los motores y frame seleccionados anteriormente, además que el material del que están fabricadas proporcionan mayor resistencia a golpes, presentan mayor fiabilidad para el vuelo y el diseño les permite girar en

sentido horario, tanto como en sentido anti horario para evitar problemas en la elevación y despegue.

Para definir cuanta carga útil puede transportar el Vant, es necesario saber el empuje que proporciona cada hélice, para lo que se emplea los datos del empuje y las RPM que se encuentran en la tabla 15.2 de características técnicas de las hélices, junto con las 10000 RPM, siendo la velocidad de los motores del Vant al momento del despegue con la carga útil a llevar para la fumigación. (Suqui y Paredes, 2019, p.48)

$$\text{empuje por hélice} = \left(\frac{RPM2}{RPM1}\right)^2 * \text{empuje} \quad \text{Ecu. 4.2}$$

Sustituyendo los valores se obtiene.

$$\text{empuje por hélice} = \left(\frac{10000}{7000}\right)^2 * 1800 \quad \text{Ecu. 5.2}$$

$$\text{empuje por hélice} = 3673,4 \text{ g} \quad \text{Ecu. 6.2}$$

$$\text{empuje total} = 4 * 3673,4 \quad \text{Ecu. 7.2}$$

$$\text{empuje total} = 14693,8 \text{ g} \quad \text{Ecu. 8.2}$$

La Ecu.8.2, muestra el valor del empuje de las 4 hélices al momento de despegue, es decir cuando los motres giren a 10000 RPM

Ahora bien, se procede a calcular el peso total de todos los elementos para tener conocimiento de cuanta carga útil se puede llevar en el tanque para el sistema de fumigación.

Tabla 16-3 : Peso total de los elementos del Sistema FAPV

| Elemento | Peso (g) | Cantidad | Total (g) |
|------------------------------|----------|----------|------------------|
| Controlador de vuelo Pixhawk | 38,00 | 1 | 38,00 |
| Módulo de telemetría | 11.91 | 1 | 11.91 |
| GPS | 32,00 | 1 | 32,00 |
| Frame | 750,00 | 1 | 750,00 |
| Motor | 151,00 | 4 | 604,00 |
| ESC | 7,00 | 1 | 7,00 |
| Receptor | 10,00 | 1 | 10,00 |
| Batería | 862.96 | 1 | 862.96 |
| Hélice | 20.20 | 4 | 80.80 |
| Sensor flotador de nivel | 6.88 | 1 | 6.88 |
| Bomba | 72,00 | 1 | 72,00 |
| Tanque sin fungicida | 34,00 | 1 | 34,00 |
| Conducto de agua | 6.42 | 1 | 6.42 |
| Boquillas de aspersión | 4.20 | 1 | 4.20 |
| Peso Total | | | 2510.27 g |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Una vez determinado el valor del empuje total al momento de despegue y el peso total de los componentes, se puede calcular el peso de la carga útil que puede llevar el Vant.

$$Peso\ carga\ útil = empuje\ de\ las\ hélices - peso\ total \quad Ecu. 9.2$$

$$Peso\ carga\ útil = 14693,8\ g - 2510.27\ g \quad Ecu. 10.2$$

$$Peso\ carga\ útil = 12183,5\ g \quad Ecu. 11.2$$

La Ecu. 11.2, indica el valor del peso de la carga útil que puede llevar el Vant, pero es importante tener en cuenta que no se puede contar con ese valor en su totalidad, debido a que se puede producir el empuje en pérdida.

$$Peso\ carga\ útil\ Real = \frac{1}{3} * Peso\ carga\ útil \quad Ecu. 12.2$$

$$Peso\ carga\ útil\ Real = \frac{1}{3} * 12183,5\ g \quad Ecu. 13.2$$

$$\text{Peso carga útil Real} = 4061,1 \text{ g}$$

Ecu. 14.2

La Ecu. 14.2, nos indica que el peso de carga útil real para no producir el empuje en pérdida es de 4061,1g, por lo que el tanque se puede llenar con los 250 ml que da la capacidad del recipiente y de esta manera cumplir con la fumigación.

3.5 Esquema de conexión del prototipo

Con los elementos de hardware necesarios, es tiempo de conocer la conexión física entre ellos para el Sistema AFPV, como la conexión de los ESC con los motores, el controlador de vuelo con los diferentes elementos, entre otros.

3.5.1 *Conexión de los motores*

Para lograr el movimiento del Vant un par de motores deben girar en sentido horario (CW) y el otro par en sentido antihorario (CCW) como se vió anteriormente, para esto cada uno de ellos debe estar conectado a su propio ESC y hélice.

Los motores sin escobillas tienen tres bobinas por lo que se requiere de tres cables para suministrar corriente y producir el campo magnético que genera el movimiento. Para lo cual se presenta la conexión entre los motores con los ESC y las hélices.

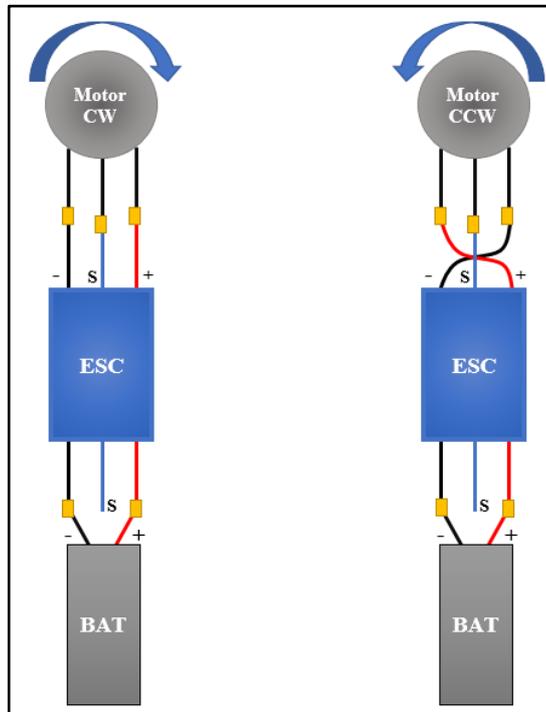


Gráfico 6-3: Esquema de conexión de los ESC
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en el grafico 7-3, para que los motores giren en sentido horario (CW) se conectan directamente, mientras que para que giren en sentido antihorario (CCW) se intercambia la conexión de los cables con respecto al primer motor.

Las salidas de los ESC se enlazan a los conectores positivos y negativo según correspondan y el tercer cable corresponde a la conexión de la señal para la generación de pulsos desde el controlador de vuelo.

Mientras que se tienen dos tipos de hélices, las de propulsión, que se montan sobre los motores que giran en sentido horario (CW) y las normales, que se montan sobre los motores que giran en sentido antihorario (CCW).

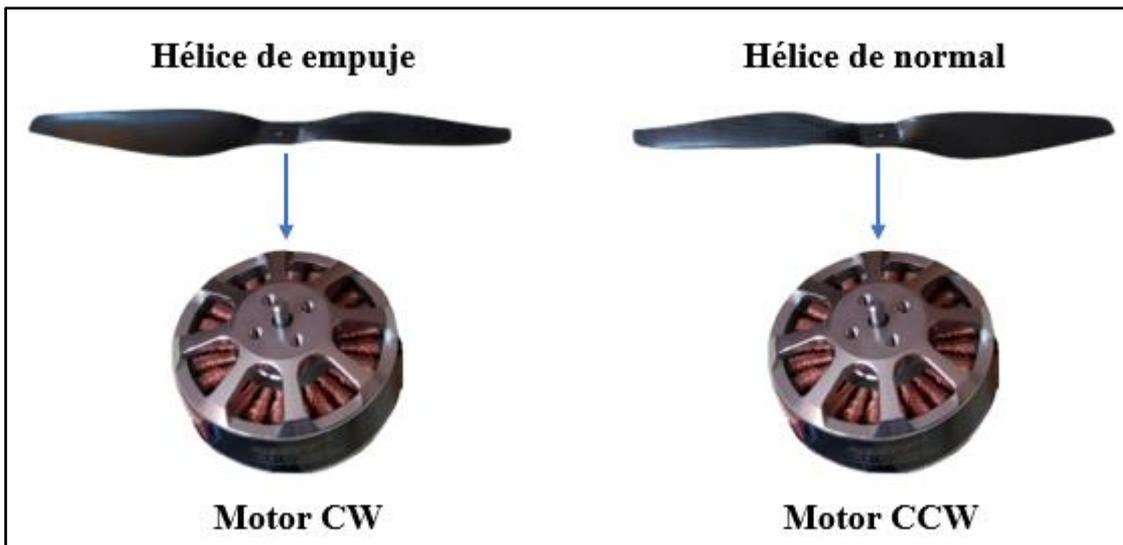


Gráfico 7-3: Montaje de las hélices
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.5.2 Conexión del controlador de vuelo

Se muestra la conexión de la pixhawk con los diferentes componentes que son necesarios para que el Vant cumpla con la misión

Los motores se disponen sobre el frame de manera intercalada, es decir, un motor CCW, un motor CW y continúa de esta manera hasta concluir con los cuatro motores, así mismo se los nombra del uno al cuatro junto con cada uno de los ESC, para tener un mejor control al momento de la conexión en el controlador de vuelo, para evitar errores de funcionamiento, como se lo indica el gráfico 8-3.

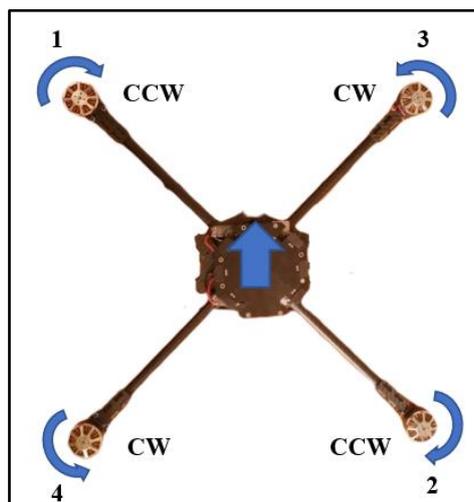


Gráfico 8-3: Disposición de los motores CW y CCW
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Para la conexión en el controlador de vuelo se usa los pines machos de la salida principal, en donde la fila superior es GND, la fila intermedia es VCC y la fila inferior es la señal. Los motores se conectan según su número en la columna que le corresponde. En el gráfico 9-2, se puede observar las conexiones detalladamente.

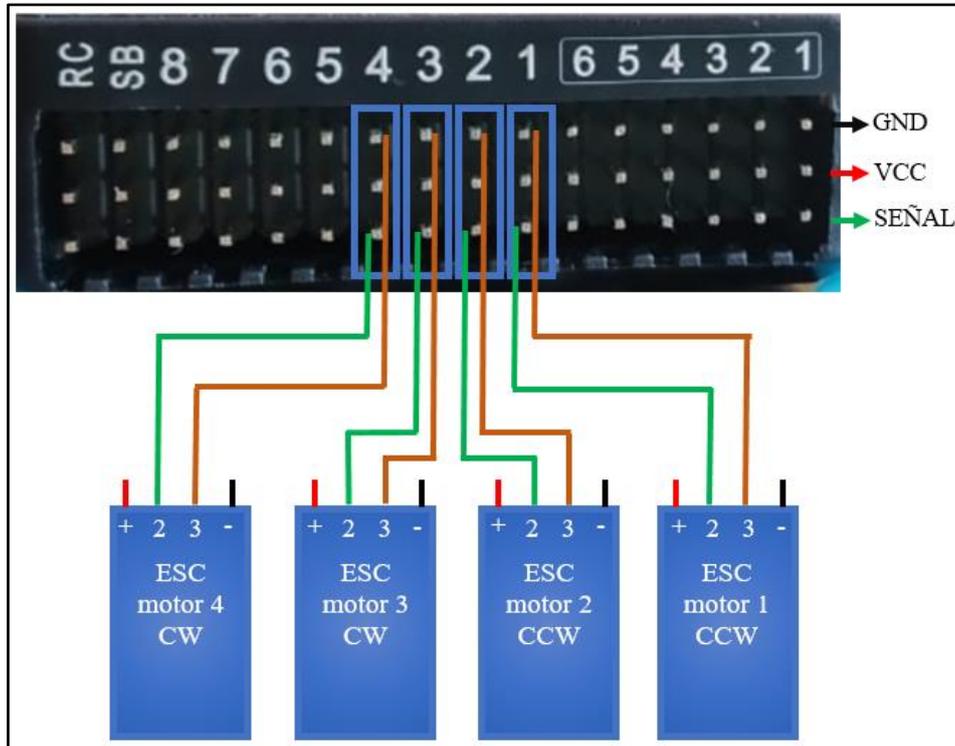


Gráfico 9-3: Esquema de conexión de la Pixhawk 2.4.8 con los ESC
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

El receptor de vuelo soporta el protocolo de comunicación PPM que se encuentra en el canal 1 o nombrado como se encuentra en el dispositivo CH1. Se tiene tres cables que van a ser conectados en el canal RC del controlador de vuelo.

La cara superior del controlador de vuelo tiene etiquetado cada puerto de entrada, de esta manera es mucho más fácil conectar los accesorios, tales como el GPS, el módulo de telemetría, el zumbador, la alimentación, entre otros. Como se muestra en el gráfico 10-2.

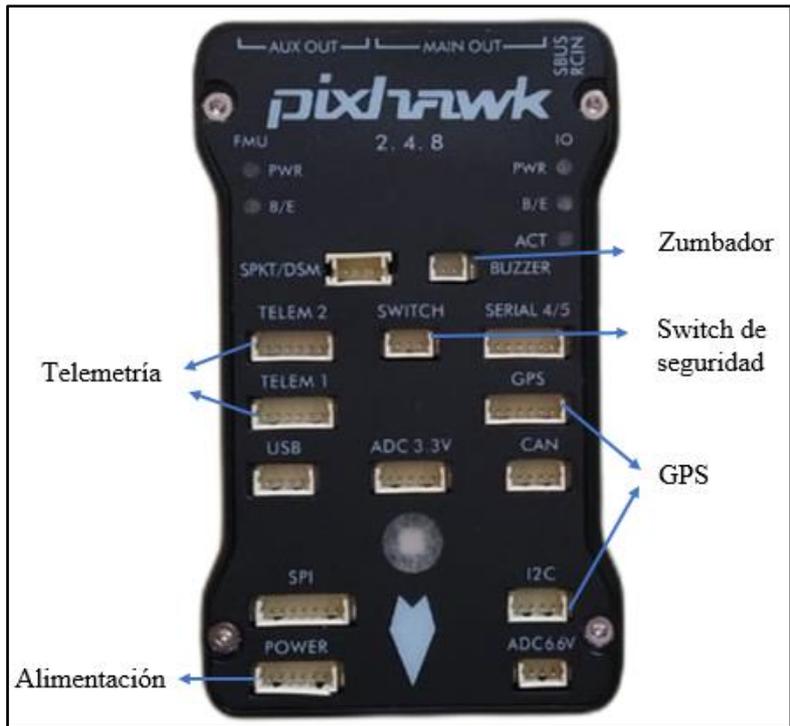


Gráfico 10-3: Partes de la Pixhawk 2.4.8
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

En las caras lateral y frontal se tiene las entradas para conectar el cable micro USB para poder realizar la comunicación con el ordenador, una ranura para el reinicio de gestión de vuelo y una para la tarjeta SD.



Gráfico 11-3: Partes de la Pixhawk 2.4.8
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.5.3 Conexión del sistema de fumigación

Para controlar el encendido de la bomba se usa el MOSFET IRF520N como interruptor y para evitar que la bomba absorba aire se requiere de un sensor en este caso un flotador que hará la

función de un switch para desactivar el circuito en el momento en que el agua se encuentre por debajo de un nivel seguro para la bomba.

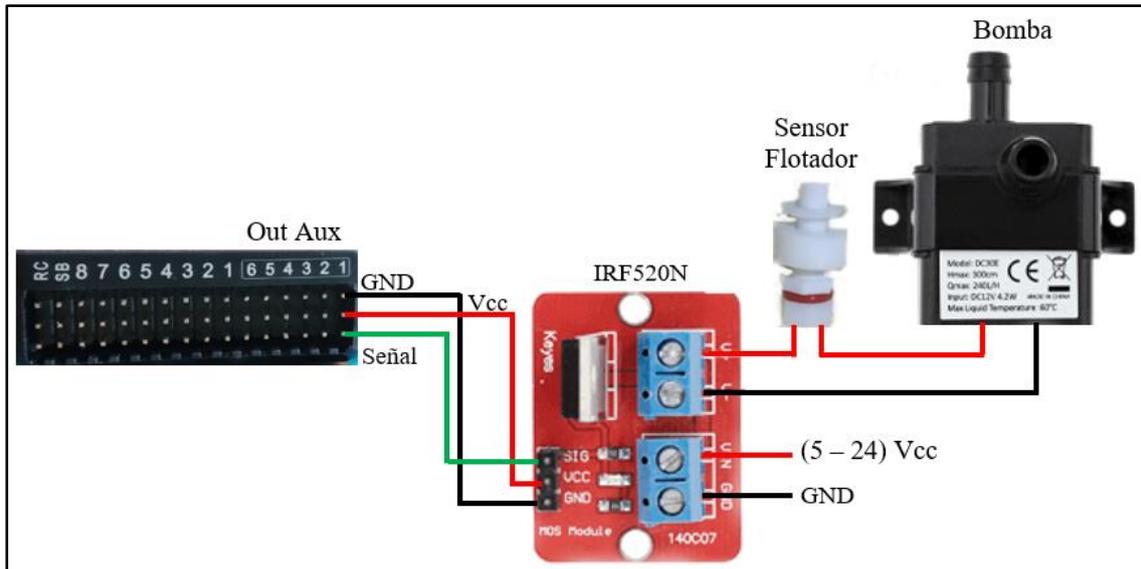


Gráfico 12-3: Esquema de conexión del sistema de fumigación

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en el gráfico 12-2, por un lado, se alimenta con el voltaje nominal de la bomba mediante Vcc y GND en este caso 12 Vcc y se conecta la carga, y por último se conecta las salidas GND, Vcc y Señal a la salida auxiliar 1 (Out Aux 1).

3.6 Montaje del sistema de fumigación.

El acoplamiento se realiza teniendo en cuenta el centro de gravedad del Vant, para lo que se distribuye los elementos del sistema de fumigación, tales como la bomba, manguera y boquilla, de tal manera que el centro de empuje y el centro de gravedad se encuentren en el mismo punto, para tener estabilidad en el vuelo. (Mayanquer Gavilanez, 2019, p.48)

El centro de empuje es el lugar en donde el empuje del Vant es mayor, esto depende de la posición de los motores, para tener conocimiento en donde se encuentra este punto se debe unir los motores con líneas diagonales como se muestra en la figura 14-2.

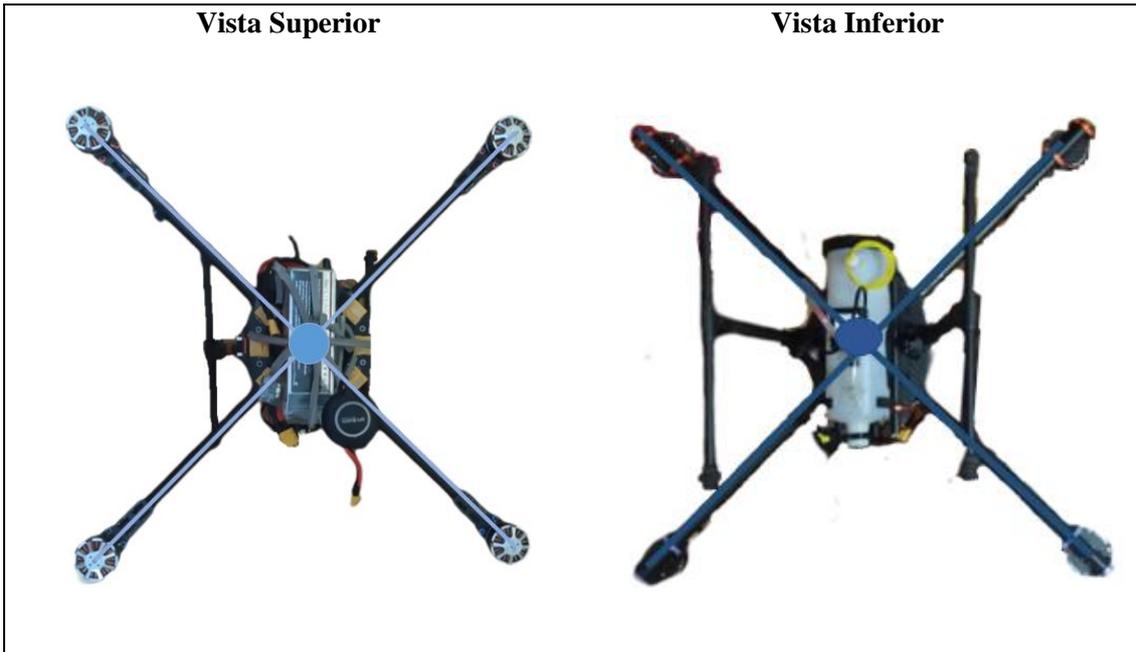


Figura 14-3. Punto del centro de empuje del Vant
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Mientras que el centro de gravedad o centro de masas es aquel punto en donde el Vant queda en equilibrio y esto depende de la distribución de los pesos. En física el centro de masa se calcula a partir de las siguientes fórmulas.



Figura 15-3. Distribución de los elementos en el plano
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

$$X_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ecu. 15.2}$$

$$Y_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \text{Ecu. 16.2}$$

Donde:

X_{cm} y Y_{cm} son los puntos del centro de masa en el plano.

x_i : Es el punto en el que se encuentra cada masa en el eje x, respecto al sistema de referencia.

y_i : Es el punto en el que se encuentra cada masa en el eje y, respecto al sistema de referencia.

m_i : Masa de cada elemento.

Es de esta manera en la que se procede a calcular el centro de masa del sistema, tomando como punto de origen el centro de empuje, para que el Vant no sufra ningún tipo de inestabilidad.

A partir de la figura 15-2 y mediante el uso de las Ecu. 15.2 y Ecu 15.3 se realiza el cálculo para obtener el centro de masas.

Cálculo del centro de masas en X

$$X_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$X_{cm} = \frac{(-1cm \times 4.20g) + (0cm \times 34g) + (-4cm \times 6.88g) + (-0.2cm \times 0.72g)}{4.20g + 34g + 6.88g + 0.72g}$$

$$X_{cm} = \frac{-31.86 \text{ cm g}}{45.8g}$$

$$X_{cm} = -0.69 \text{ cm}$$

Cálculo del centro de masas en Y

$$Y_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$Y_{cm} = \frac{(4.2cm \times 4.20g) + (0cm \times 34g) + (0cm \times 6.88g) + (-0.6cm \times 0.72g)}{4.20g + 34g + 6.88g + 0.72g}$$

$$Y_{cm} = \frac{17.21 \text{ cm g}}{45.8 \text{ g}}$$

$$Y_{cm} = 0.38 \text{ cm}$$

Se tiene como resultado que el punto en donde se encuentra el centro de gravedad es:

$$P = (-0.69 ; 0.38)cm$$

Es así como se nota una ligera variación de -0.69 cm en el eje “x” y 0.38 cm en el eje “y”, en relación al centro de empuje. Considerando un peso de 5 g, se procede a realizar los cálculos para encontrar el punto P1, en donde se debe ubicar el peso.

$$P = (-0.69 ; 0.38)cm$$

Para poder trasladar el punto en donde se encuentra el centro de gravedad, al punto (0 ; 0), es decir el origen del plano se realiza la siguiente analogía.

$$X_{cm} = \frac{-31.86 \text{ cm g}}{45.8g}$$

$$Y_{cm} = \frac{17.21 \text{ cm g}}{45.8 g}$$

Para obtener el valor del centro de gravedad en X e Y, se necesita un valor tal que nos de cero en el numerador, para la coordenada X es 31,86 y para la coordenada Y es -17,21.

Cada valor está formado por un punto en X y un peso. Por lo que, considerando un peso de 5g se tiene que el punto en el eje de las X es:

$$31,86 \text{ cm g} = 5X$$

$$X1 = 6,37 \text{ cm}$$

Para obtener el valor del centro de gravedad en Y, cada valor está formado por un punto en Y y un peso. Por lo que, considerando un peso de 5g se tiene que el punto en el eje de las Y es:

$$-17,21 \text{ cm g} = 5Y$$

$$Y_{cm} = -3,44 \text{ cm}$$

$$P1 = (6,37 ; -3,44) \text{ cm}$$

Por lo que se ha optado por ubicar un bloque de madera en el punto P1 (6,37; -3,44), de 5 g de peso, para trasladar el punto del centro de gravedad al origen.

3.7 Altura y velocidad de vuelo del Vant

Para garantizar que el producto fitosanitario cubra por completo el follaje de las plantas de papa, el Vant debe volar a cierta altura y velocidad, ya que están estrechamente ligados con el ancho de pulverización y la calidad de cobertura.

3.7.1 Análisis de la altura del VANT

El ancho de pulverización depende exclusivamente de la altura de vuelo del VANT, debido a que mientras más alto se encuentre, más ancho será el rocío del sistema de pulverización.

Como se vio en el capítulo 1 Las plantas de papa tienen un alto de 0.60 m y en su parte más ancha tiene 0.45 m; Las plantas en un cultivo de papa se encuentran separadas por surcos de 0.95 m. Por lo tanto, se necesita un ancho de pulverización de 1.40 m para asegurar una cobertura de toda planta.

Se procede al cálculo del ancho de trabajo con la fórmula 17.2 con valores de altura de 0.6, 1, 1.4 y 1.8 metros desde el punto de despegue.

$$at = (ab * h) + [db(nb - 1)] \quad \text{Ecu. 17.2}$$

Donde:

at= Ancho de trabajo del sistema de pulverización

ab= Ancho de aspersión de la boquilla a un metro de altura. Dato tomado manualmente

h= Altura del VANT. Para experimentación

db= distancia entre boquillas pulverizadoras

nb= número de boquillas pulverizadoras

Caso h=0.6 m

$$at = (ab * h) + [db(nb - 1)]$$

$$at = (1.2 * 0.6) + [0(1 - 1)]$$

$$at = 0.72 + 0$$

$$at = 0.72m$$

Se realiza el mismo procedimiento con las otras dos alturas, obteniendo como resultado los valores que presentan en la tabla 17-3.

Tabla 17-3 : Valores del Ancho de pulverización a diferentes alturas

| Altura | Ancho de Pulverización |
|--------------|------------------------|
| 0.6 m | 0.72 m |
| 1 m | 1.2 m |
| 1.4 m | 1.68 m |
| 1.8 m | 2.16 m |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

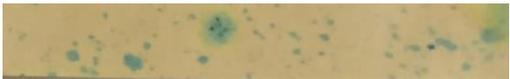
Como se sabe que se necesita un ancho de pulverización de 1.40 metros de acuerdo a los cálculos realizados, se selecciona una altura de 1.4 metros, debido a que esta altura genera el ancho de pulverización necesaria, descartando las otras alturas de 0.6, 1 y 1.8 metros ya que estas generan un mayor o menor ancho de trabajo.

3.7.2 *Análisis de la Velocidad del VANT*

La velocidad del VANT está relacionado con la cantidad de cobertura de la pulverización en la planta de papa. Como se mencionó en el capítulo 1 se usa productos sistémicos foliares para la fumigación en el cultivo, por lo que se dice que una buena pulverización con estos productos se da con un 33% de cobertura de la planta, para esto se hace el estudio experimental con la ayuda de papel PH y dándole diferentes velocidades al VANT a 5, 1 y 0.5 metros sobre segundos.

El papel PH se debe ubicar en un lugar de difícil acceso para el fungicida o plaguicida, es decir en el interior de las plantas, si después de la aplicación el papel queda de color amarillo, indica que las gotas no llegaron hasta ese punto, mientras que, si el papel queda totalmente azul, indica que la cantidad de aplicación es excesiva, un papel con una buena cobertura es aquel que tiene muchas manchas de color azul, pero se puede distinguir el fondo amarillo. (Morales et al., 2017, pp.94-95)

Tabla 18-3 : Calidad de cobertura en la planta a diferentes velocidades

| Velocidad del VANT | Calidad de cobertura |
|--------------------|--|
| 5 m/s |  |
| 1 m/s |  |
| 0.5 m/s |  |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Una vez realizado las pruebas se excluyen los valores de 0.5 m/s y 5 m/s debido a que con estas velocidades genera un porcentaje de cobertura mayor o menor a lo recomendado.

3.8 Diseño del Sistema de Fumigación

El diseño del sistema de fumigación se realiza a partir de los elementos anteriormente seleccionados, como el tanque, la bomba, el sensor, el aspersor y el conducto del funguicida, y mediante el uso del Software SolidWorks se ubican estratégicamente para que el peso de todos los componentes se encuentre nivelados y los motores ejerzan la misma fuerza.

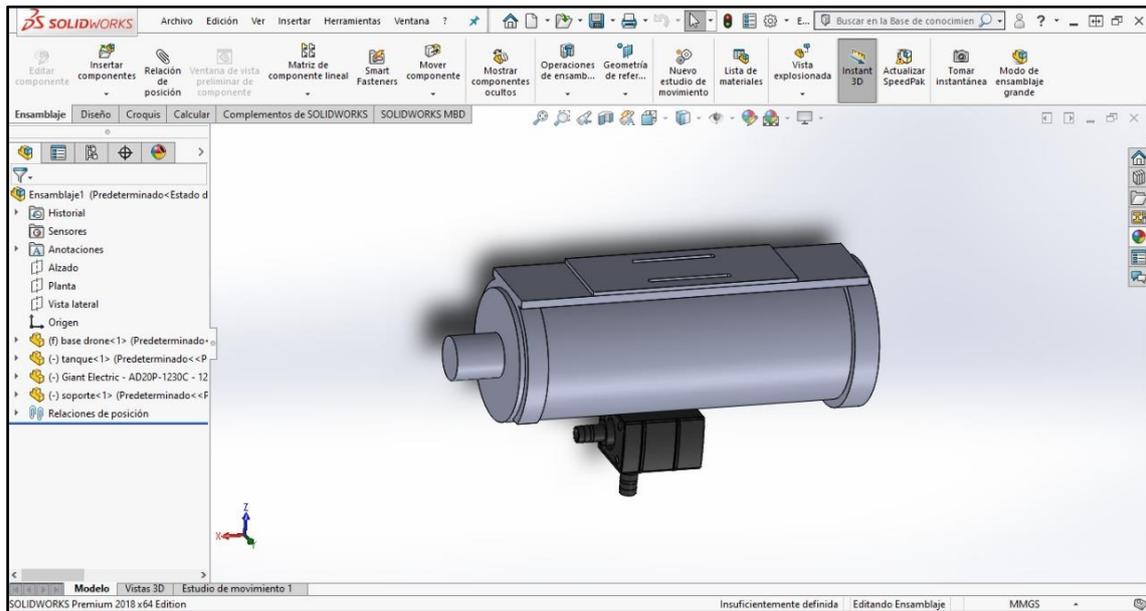


Figura 16-3. Diseño en SolidWorks para el acople del sistema de fumigación
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la figura 14-2, se ubica el motor en punto en el que el peso se encuentre equilibrado, además de realizar el diseño de la base para la adaptación al frame del Vant y para el aspersor.

3.9 Programación del controlador de vuelo

Para realizar la programación del controlador de vuelo, se usa el software libre Misión Planner que ofrece una interfaz gráfica amigable con el usuario y tiene las herramientas necesarias para cumplir con el proyecto.

3.9.1 Programación en Mission Planner

Para iniciar la programación se debe cargar al controlador de vuelo el firmware para lo que se abre el software y se selecciona la pestaña SETUP, seguidamente se da click en Instal Firmware

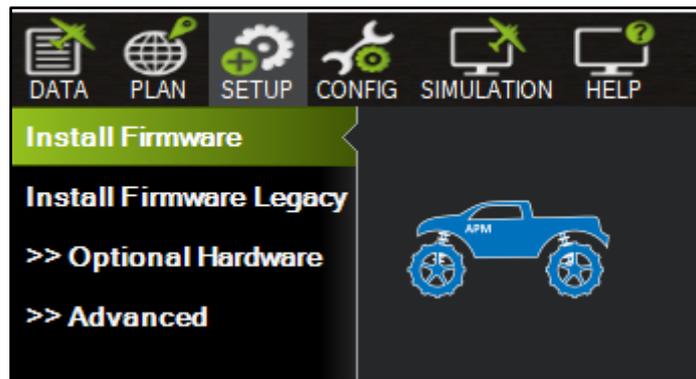


Figura 17-3. Interfaz gráfica del Software Mission Planner
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Seguido a esto se selecciona el puerto en el que se encuentra conectado la pixhawk. El programa automáticamente nombra al puerto conectado como COM No PX No, con lo que se hace mucho más sencillo reconocer el puerto en el que se encuentra, en este caso se indica como COM 5 PX4

Una vez seleccionado el COM, se procede a escoger el tipo de vehículo que se va a usar, en este caso se selecciona el cuadricóptero y en la ventana emergente se selecciona YES indicando que se está seguro de cargar el firmware tal y como se observa en la figura 16-2.

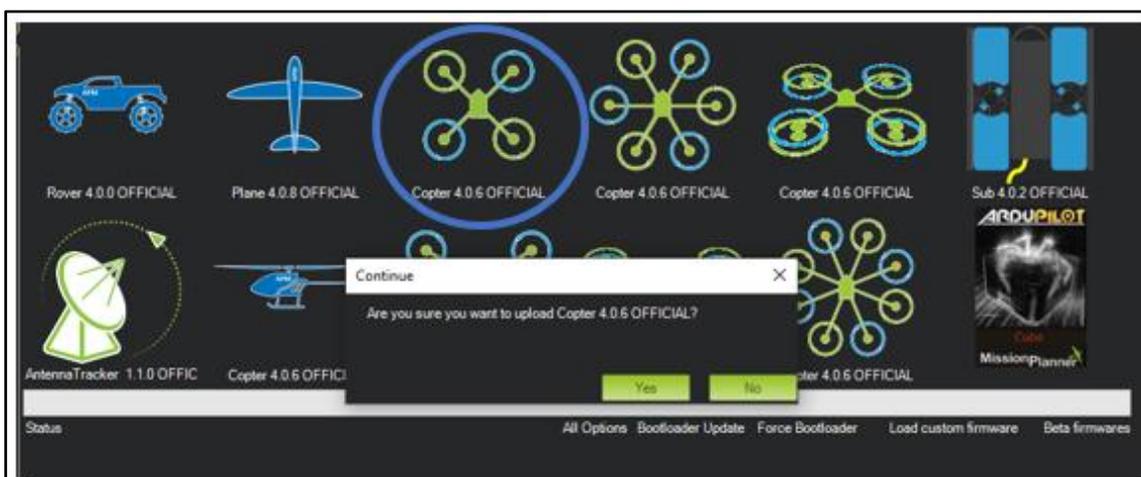


Figura 18-3. Interfaz gráfica del Software Mission Planner
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Después de tener cargado el firmware se procede a la conexión del controlador de vuelo con la PC, mediante el icono que se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla.

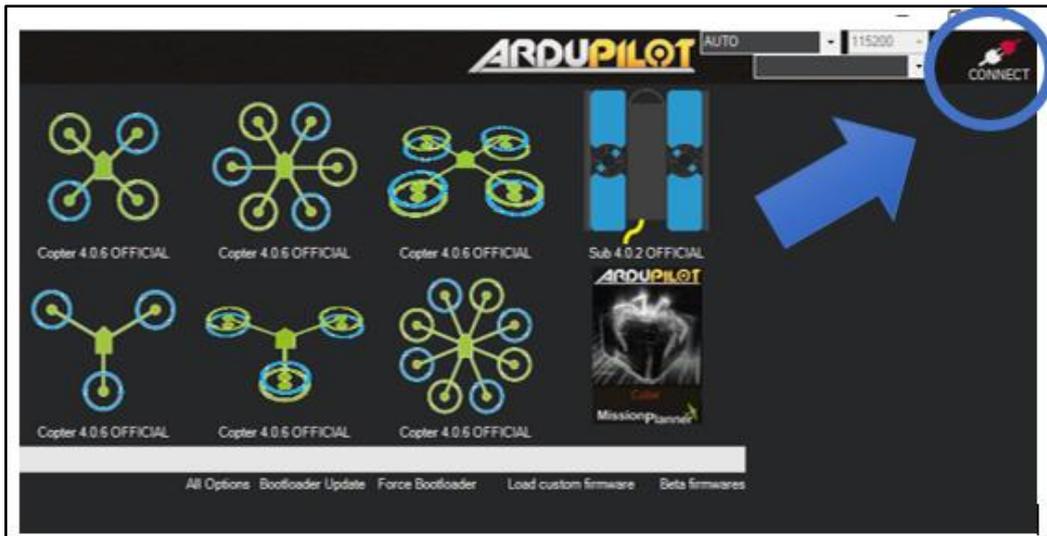
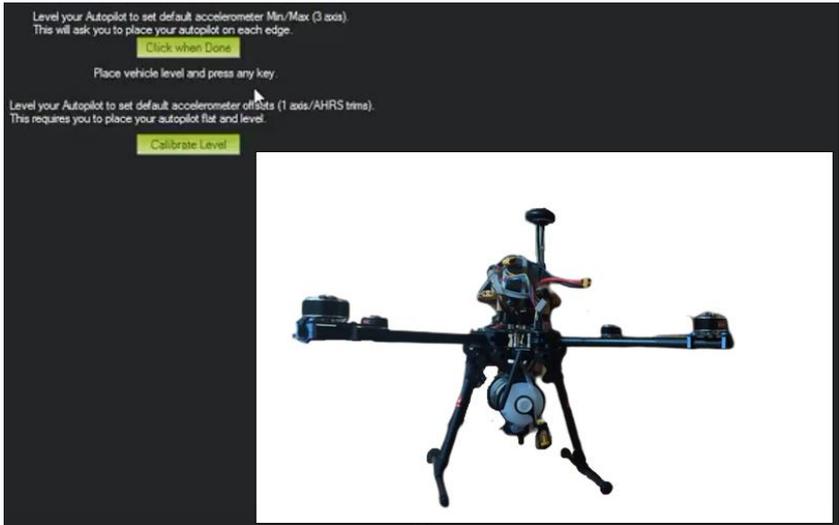


Figura 19-3. Interfaz gráfica del Software Mission Planner
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

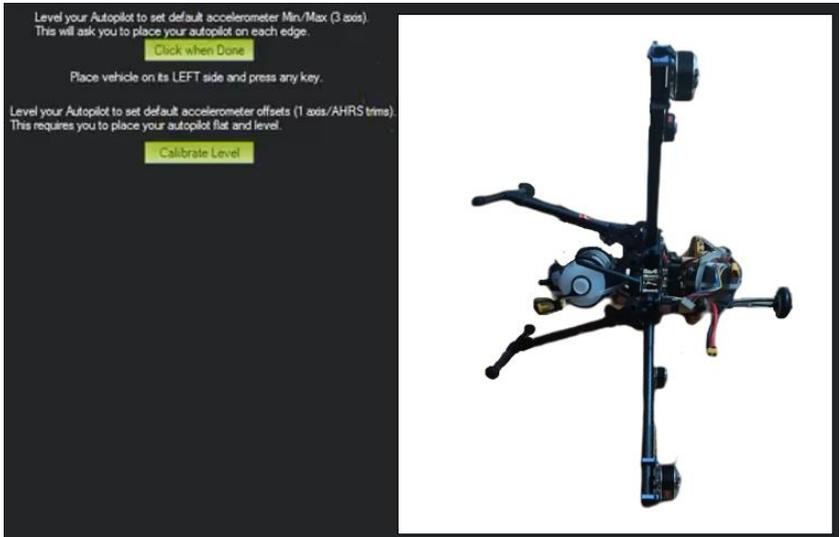
Una vez cargado el firmware y conectado con la PC, el controlador de vuelo encenderá el led en color verde y se escuchará un sonido emitido por el mismo, esto indicará que el proceso se lo ha realizado correctamente.

Ahora bien, es el momento de calibrar el acelerómetro, se realiza desde la pestaña SETUP, en la opción ACCEL CALIBRATION. Para esto el programa indica al usuario las posiciones en las que se debe ubicar el Vant, como se lo muestra en la figura 18-2.

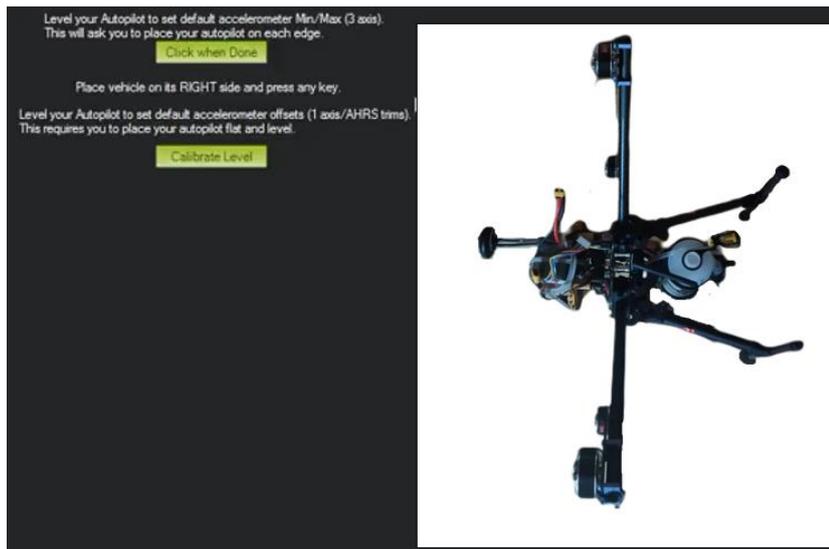




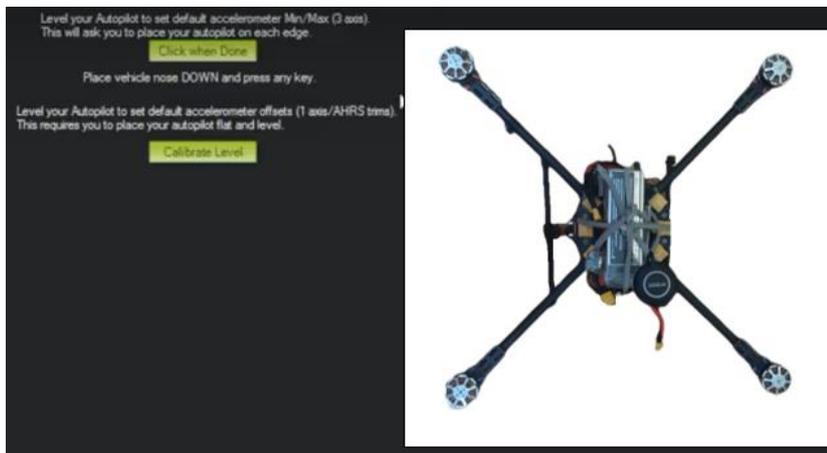
Vehículo a la Izquierda



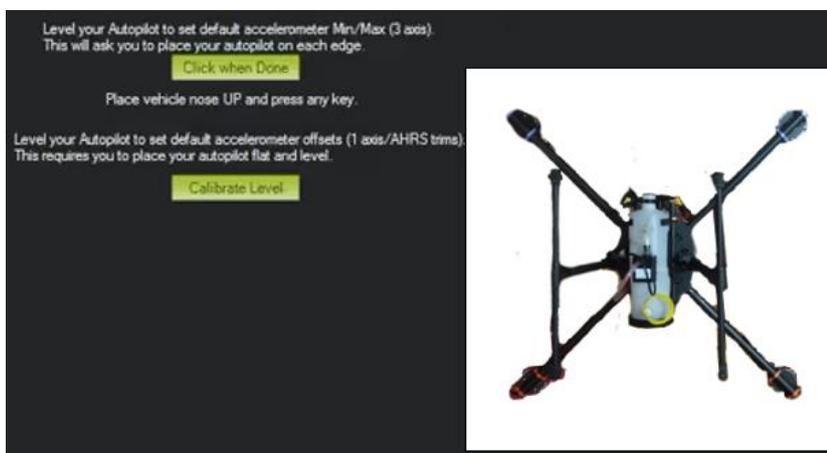
Vehículo a la Derecha



Vehículo Nariz Abajo



Vehículo Nariz Arriba



Vehículo en su espalda

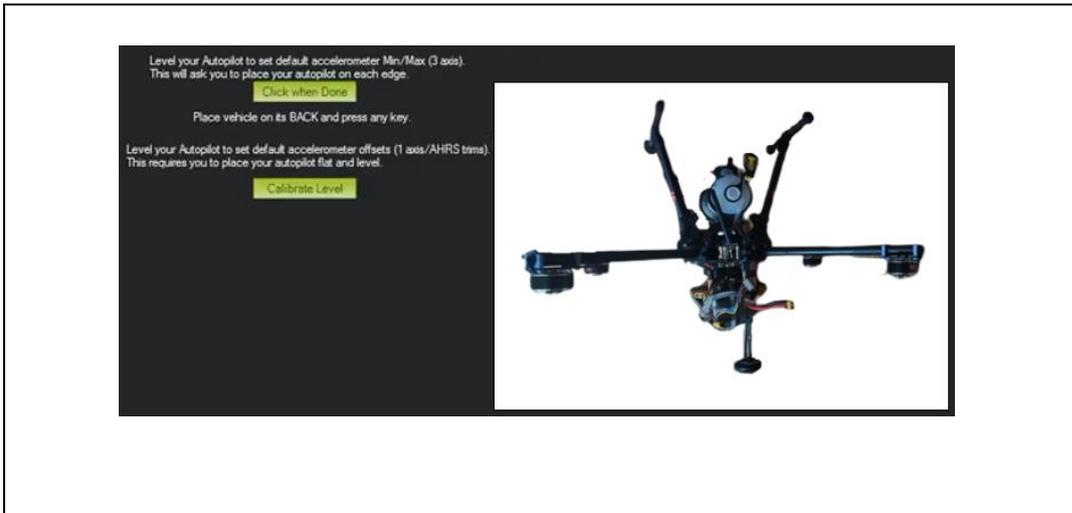


Figura 20-3. Posiciones del Vant para calibrar el acelerómetro
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Lo que resta por calibrar es la brújula, se realiza desde la pestaña COMPASS y seguido con LIVE CALIBRATION, para el proceso de calibración se debe rotar 360° en todas las posiciones indicadas anteriormente al VANT, verificando que el software guarde los valores de cada movimiento realizado en el controlador de vuelo, como se indica en la figura 19-2.



Figura 21-3. Pantalla de visualización al calibrar la brújula
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.9.2 Configuración de los modos de vuelo

El controlador seleccionado tiene varios modos de vuelo, se describen cada uno de ellos, sin embargo, para su uso permite la configuración de 6.

Tabla 19-3 : Características de los diferentes Modos de vuelo que soporta el controlador de vuelo Pixhawk 2.4.8

| Modo de vuelo | Característica |
|--------------------------|---|
| Altitud Hold Mode | Mantiene la altitud y auto nivela el balanceo y el cabeceo. |
| Loiter | En este modo el VANT se nivela automáticamente, intenta mantener la ubicación, el rumbo y la altitud actual. Cuando se sueltan las palancas, el vehículo reduce la velocidad hasta detenerse y mantenerse en posición. |
| RTL Mode | Retorna a la ubicación de despegue, puede incluir aterrizaje. |
| Auto Mode | En este modo, el VANT seguirá un guión de misión preprogramado almacenado en el piloto automático que se compone de puntos de referencia llamados comando de navegación, incorpora el control de altitud del modo Altitud Hold mode y el control de posición del modo Loiter y no se debe intentar antes de que estos modos estén volando bien. |
| Acro | Este modo controla la velocidad angular en cada eje, es muy útil para acrobacias aéreas como volteretas o giros. |
| Sport | Este modo de vuelo fue diseñado para volar FPV (First Person View) es decir que permite ver en tiempo real lo que la cámara está mirando, puede filmar tomas de dolly o sobrevuelos ya que es capaz de colocar el VANT en un ángulo particular y mantener ese ángulo. |
| Drift | El modo deriva permite al usuario manejar el VANT como un avión con giros automáticos integrados, el usuario tiene control directo de Yaw y Pitch, pero Roll está controlado por el piloto automático, además de tener el control sobre el acelerador. |
| Guided Mode | El modo guiado es una capacidad del VANT para guiar dinámicamente el helicóptero a una ubicación objetivo de forma inalámbrica utilizando un módulo de radio telemetría y una estación a tierra. |
| Circle Mode | El VANT volará en círculos sobre un punto, manteniendo el radio de vuelo con la cara frontal del mismo dirigido hacia el centro. |
| Position Mode | Se desarrolla de igual manera que el modo Loiter, pero el usuario tiene el control del acelerador, el VANT mantiene la altitud y posición constante con el control manual del acelerador. |
| Land Mode | En este modo el VANT desciende a 10m o hasta que la sonda detecte algo debajo del helicóptero, descenderá la velocidad y apagará automáticamente los motores, por lo que realiza un aterrizaje seguro en tierra. |
| Follow me Mode | Permite que el VANT siga al piloto mientras se mueve, usando una radio de telemetría y una estación a tierra. |
| Simple | Controla el Vant desde el punto de vista del piloto y en relación con el rumbo de los VANT's en el despegue y se basa solo en un buen rumbo de la brújula. |
| Super simple Mode | Controla el Vant desde el punto de vista del piloto y en relación con su dirección en donde fue armado, requiere una buena posición GPS. |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

De estos modos de vuelo se han seleccionado 2, los que son necesarios para cumplir con las misiones del presente proyecto, que son:

- Auto
- Loiter

El control remoto que se usa tiene cuatro switches, C de 3 posiciones y A, B y D de 2 posiciones, se usa los switches C y D para intercambiar entre los diferentes modos de vuelos seleccionados.

3.9.3 Programación de la trayectoria en modo automático

Para realizar la configuración en un plan de vuelo autónomo es necesario, tener un mapa del terreno para trazar la trayectoria, este se obtiene mediante el GPS, a continuación de esto se traza cada coordenada mediante el botón Escribir WPs y se le asigna un nombre, hasta completar la ruta deseada por el usuario.

Una vez trazados todos los puntos de la trayectoria, se conecta el Vant con el estación de control a tierra mediante telemetría y se escoge el modo auto. Como se observa en la figura 22-3.



Figura 22-3. Interfaz gráfica del Software Mission Planner

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.9.4 Reconocimiento del terreno

El cultivo de papa en el que se va a trabajar es de 11,2 m de largo y de 3,8 m de ancho. Las papas se encuentran separadas 0,4m unas de otras en cada hilera y con 5 surcos de 0,95 m. Como se puede observar en la figura 23-3. En cada hilera se tiene 15 plantas de papa.

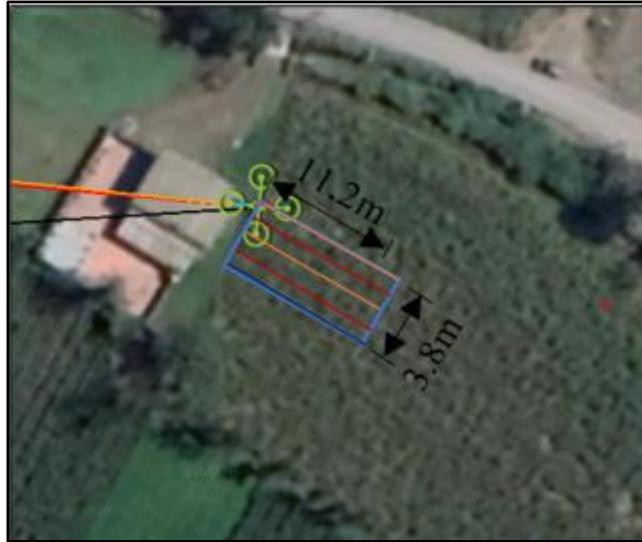


Figura 23-3. Dimensiones del cultivo

$$T_{plantas} = N_{ph} * N_s$$

Ecu. 18.2

Donde:

N_{ph}: Numero de plantas por hilera

N_s: Número de surcos

$$T_{plantas} = 15 * 5$$

$$T_{plantas} = 75 \text{ plantas}$$

Lo que da una población total de 75 plantas de papa en todo el cultivo.

3.9.5 Planificación de la trayectoria

Para realizar la planificación de la trayectoria se tiene en cuenta el tiempo de vaciado del tanque que es de 45s y la consideración de que el mismo tiene un sensor que no le permite la descarga más allá de 1/3.

$$C_{svt} = \frac{2}{3} * T_{vt}$$

Ecu. 19.2

Donde:

Csvt: Cantidad segura de vaciado del tanque

Tvt: Tiempo de vaciado del tanque

$$Csvt = \frac{2}{3} * 68s$$

$$Csvt = 45s$$

Se tiene que el tanque se vacía en 45s, por lo que la trayectoria del Vant debe estar dentro del rango de esta cantidad, para volver a llenar el tanque una vez transcurrido este tiempo.

Tomando en consideración que: la velocidad del Vant es de 1m/s y el tiempo en el que se vacía el tanque de 45s. Se tiene que:

$$dt = Vv * Csvt \quad \text{Ecu. 20.2}$$

Donde:

dt: Distancia de la trayectoria

Vv: Velocidad del Vant

$$dt = 1 \frac{m}{s} * 45s$$

$$dt = 45m$$

Se tiene una longitud de trayectoria de 45 metros, hasta que la bomba se vacíe.

Una vez teniendo en cuenta los valores de la distancia de la trayectoria y el porcentaje de error que presenta el GPS. Se Implementa la trayectoria que se observa en la figura 24-3.



Figura 24-3. Trayectoria del Vant

La planificación de la trayectoria para el cultivo de papa en el que se va a trabajar, se divide en dos misiones, la primera misión señalado con la trayectoria naranja, tiene como punto de inicio el comienzo del cultivo, señalado con el numero uno y terminado de recorrer los tres surcos, el Vant se dirige al punto 2, señalado con la línea entrecortada de color negro. Una vez terminado con la primera misión se realiza la recarga de funguicida del tanque, señalado con la circunferencia de borde anaranjado y relleno azul. Desde ese punto se inicia la segunda misión señalado con el número dos y representado con la trayectoria de color rojo. Al momento de finalizar de recorrer los dos surcos restantes el Vant regresa al punto de inicio, señalado con la línea entrecortada de color negro.

$$dtreal = 3lh + 2ls \quad \text{Ecu. 21.2}$$

Donde:

dtreal: distancia de la trayectoria real

lh: Longitud de hilera

ls: Longitud de surco

$$dtreal = (3 * 11,2) + (2 * 0,95)$$

$$dtreal = 35,5m$$

La distancia de la planificación de la trayectoria de la primera misión es de 35,5 m, al ser la trayectoria más larga, se garantiza de que el funguicida alcance para la trayectoria planificada.

3.9.6 Configuración del sistema de fumigación

El controlador de vuelo incorpora seis salidas auxiliares, en las que se puede configurar una bomba para fumigación, se puede controlar mediante PWM y permite variar el flujo de aspersion según la velocidad del VANT.

3.9.6.1 Activación de la bomba para pulverización

Para habilitar la salida auxiliar en el controlador de vuelo, el VANT debe estar conectado con la estación de control de tierra. Una vez en el programa, en la sección CONFIG, en la opción FULL PARAMETER LIST se procede a configurar los siguientes parámetros.

Tabla 20-3 : Parámetros de configuración para la activación de la bomba para pulverizar

| Parámetro | Configuración |
|-----------------|---------------|
| SPRAY-ENABLE | 1 |
| SERV09-FUNCTION | 22 |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Una vez configurado los parámetros, Se configura el SERVO09 como entrada CH7 y de la misma manera a RC7 Opt como Relay On/Off, como se muestra en el figura 21-2. Esto con el fin de activar la salida auxiliar número 6 del controlador de vuelo.

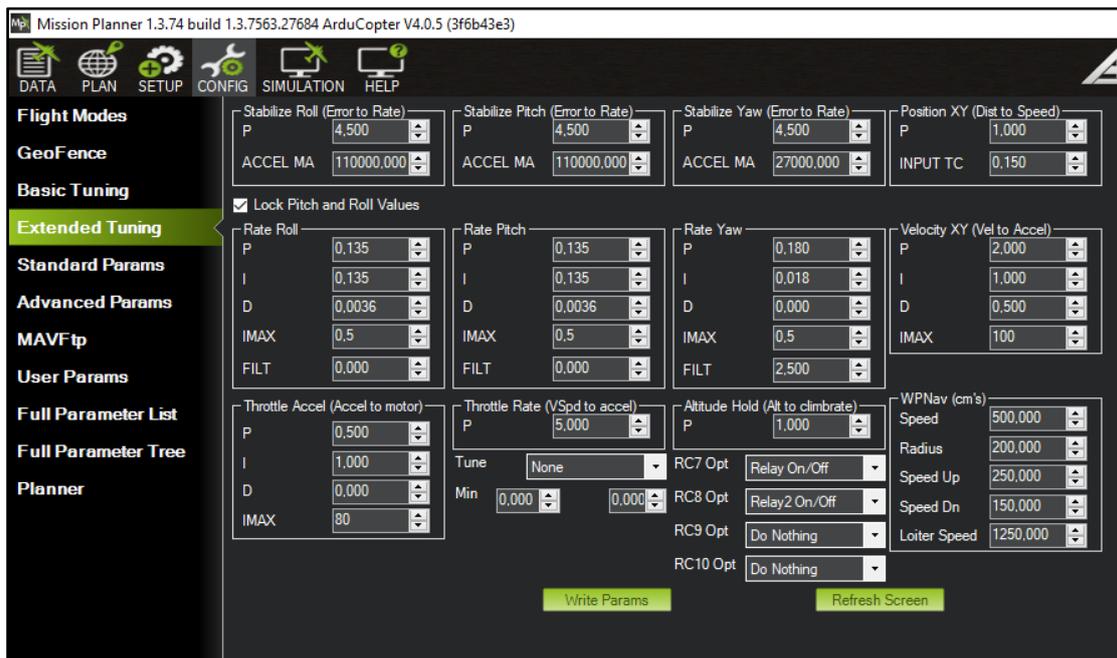


Figura 25-3. Interfaz gráfica del Software Mission Planner

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.9.6.2 Configuración de la bomba para pulverización

Para la configuración de la bomba se debe establecer el rango de valores en los que se va a manejar el PWM, esto depende de la necesidad de cada usuario. Además de establecer valor de otros parámetros necesarios para el sistema como se muestra en la tabla 21-3.

Tabla 21-3 : Parámetros de configuración para la bomba para pulverizar

| Parámetro | Configuración | Descripción |
|-----------------|---------------|---|
| SERVO09_MIN | 1 | Valor mínimo de PWM. |
| SERVO09_MAX | 22 | Valor máximo de PWM. |
| SPRAY_PUMP_MIN | 10% | Control de la tasa de bombeo |
| SPRAY_PUMP_MIN | 1% | Control de la velocidad de bombeo |
| SPRAY_SPEED_MIN | 10 | Establece velocidad mínima del VANT, a la que la bomba se activará. |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

El control de la tasa de bombeo configurado al 10% permite a la bomba desactivarse cuando el VANT se detiene, mientras que el control de la velocidad de bombeo al 1%, muestra que si el VANT acelera a 1m/s la bomba alcanzará el 100% y para finalizar un valor de 100 para la velocidad de rocío, indica que la bomba se activará cuando la velocidad del VANT sea 1 m/s.

3.9.6.3 Activación desde el radio control de la bomba

Para activar la bomba desde el radio control, se configura al SWA del radio control, para que actúe sobre el CH7 de la Pixhawk.



Figura 26-3. Configuración del canal auxiliar

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.9.7 Implementación del VANT

Una vez realizado el dimensionamiento y programación del Sistema AFPV, se prosigue con la implementación física del VANT.

En primer lugar, se coloca cada motor en su respectivo lugar en el frame, verificando que se encuentren en la posición indicada en la figura 22-2, una vez realizado la instalación se asegura cada motor con tornillos, como se muestra en la figura 22-2.



Figura 27-3. Montaje del motor en el frame con tornillos

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Después de esto se suelda cada ESC con su respectivo motor como se mencionó anteriormente, se usó un material termo retráctil para aislar la soldadura y se sujeta, distribuyendo según la posición de cada motor en la parte central del frame con una cinta adhesiva doble faz.

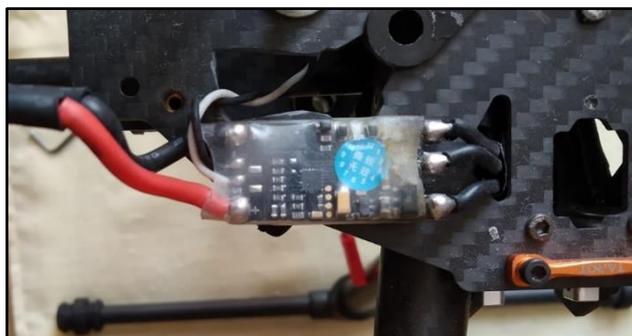


Figura 28-3. Montaje del ESC sobre el frame

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

A continuación, se sueldan los conectores en la placa de potencia y se aíslan correctamente cada una de estas, con el fin de tener las salidas de voltaje necesarias para cada elemento del Sistema FAPV.

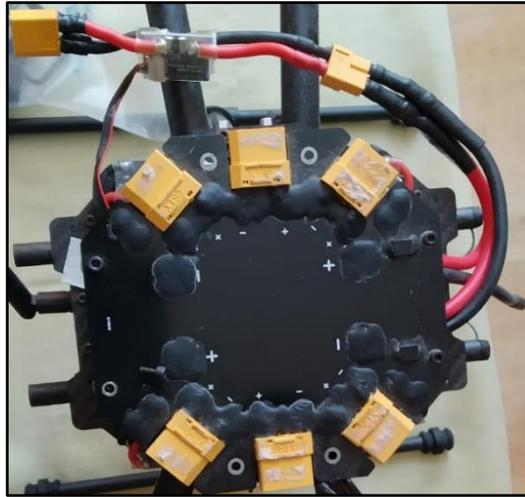


Figura 29-3. Placa de potencia

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Una vez soldado los conectores, se coloca el módulo de telemetría, el receptor, el controlador de vuelo y el sistema de pulverización con sus respectivas conexiones. Como se muestra en la figura 25-2.



Figura 30-3. Montaje completo en el Vant

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Para finalizar, se coloca las hélices en su respectivo motor, como se vio anteriormente y se sujetan con tornillos.



Figura 31-3. Montaje de las hélices sobre los motores del Vant
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10 Análisis y resultado del prototipo

3.10.1 Prueba en la batería

Para validar el funcionamiento de la batería usada en el VANT, es necesario el uso de un multímetro para medir el voltaje en cada celda, el que debe ser de 3.4 V. En la tabla 22-3. Se presenta el voltaje de las celdas de la batería.

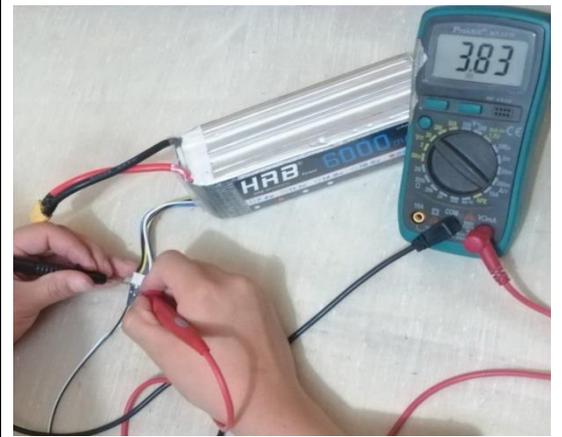
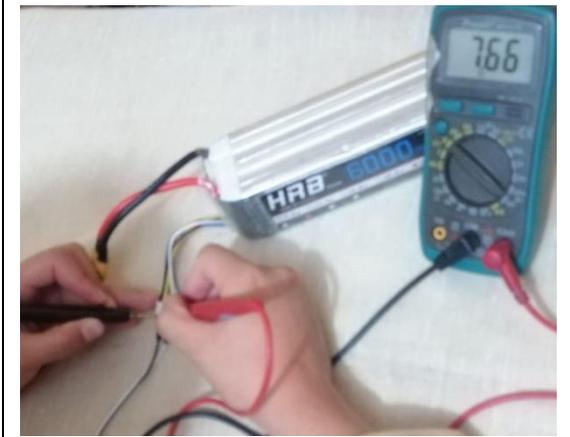
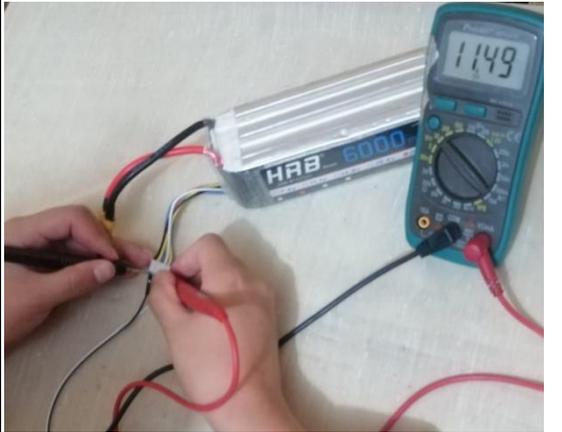
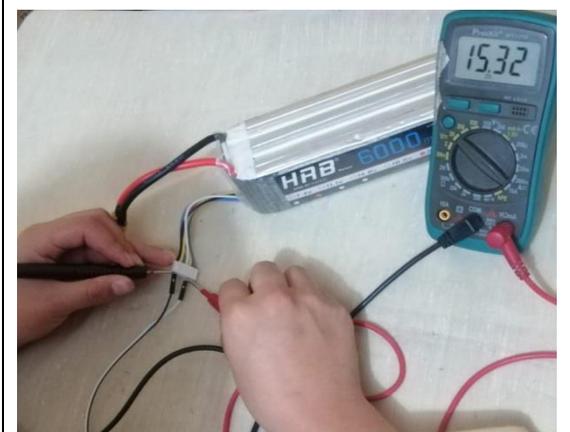
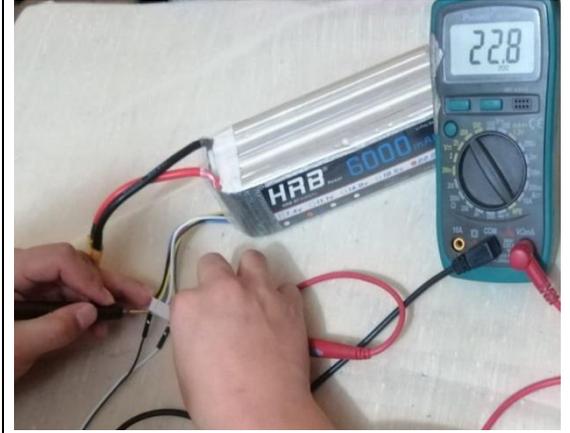
Tabla 22-3 : Resultado de pruebas realizadas en la batería LiPo

| Celda | Voltaje (V) | Estado |
|-------|-------------|--------|
| 1 S | 3.83 | Bueno |
| 2 S | 7.66 | Bueno |
| 3 S | 11.49 | Bueno |
| 4 S | 15.32 | Bueno |
| 5 S | 19.09 | Bueno |
| 6 S | 22.8 | Bueno |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la tabla 23-3, se realizan las pruebas en cada celda de la batería, comprobando su buen funcionamiento.

Tabla 23-3 : Pruebas realizadas en cada celda de la batería LiPo

| Celda 1 – 1S | Celdas (1,2) – 2S |
|---|--|
|  |  |
| Celdas (1,2,3) – 3S | Celdas (1,2,3,4) – 4S |
|  |  |
| Celdas (1,2,3,4,5) – 5S | Celdas (1,2,3,4,5,6) – 6S |
|  |  |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.2 Prueba del controlador de vuelo

Para realizar la prueba en el controlador de vuelo, se energiza y se observa si existe la conexión con el puerto del equipo en el que se encuentra la estación a tierra además del correcto funcionamiento de los leds indicadores y de sus accesorios tales como: el zumbador y el Switch de seguridad.

Tabla 24. 3 : Resultado de pruebas realizadas en el controlador de vuelo

| Componente | Estado |
|---------------------|------------|
| Leds | Bueno |
| Zumbador | Bueno |
| Switch de seguridad | Bueno |
| Puerto COM | Reconocido |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Una vez realizadas las pruebas, se comprueba que el controlador de vuelo se encuentra en estado óptimo para su uso, como se muestra en la tabla 25-3.

Tabla 25- 3: Pruebas realizadas en el controlador de vuelo

| Leds, zumbador y Switch de Seguridad | Reconocimiento en Puerto COM |
|---|--|
|  |  |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.3 Prueba del módulo de telemetría

Para la prueba del módulo de telemetría se realiza un enlace de comunicación entre el sistema de control de tierra y el VANT para lo que se usa el software Mission Planner, en el momento de la conexión los leds se ponen en color verde tanto del módulo de telemetría de la estación de tierra como el que se encuentra el VANT. En la tabla 5.3, se muestra el estado del módulo de telemetría usado.

Tabla 26-3 : Resultado de pruebas realizadas en el módulo de telemetría

| Componente | Estado |
|---|----------|
| Led verde del módulo de Telemetría de la estación de tierra | Bueno |
| Led verde del módulo de Telemetría del VANT | Bueno |
| Enlace de comunicación del módulo de Telemetría. | Presenta |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

En la figura 1-3, se puede observar que los módulos de telemetría tanto de tierra como de aire son capaces de formar un enlace de comunicación entre el sistema de control de tierra y el controlador de vuelo que se encuentra en el VANT. Indicando que funciona correctamente.

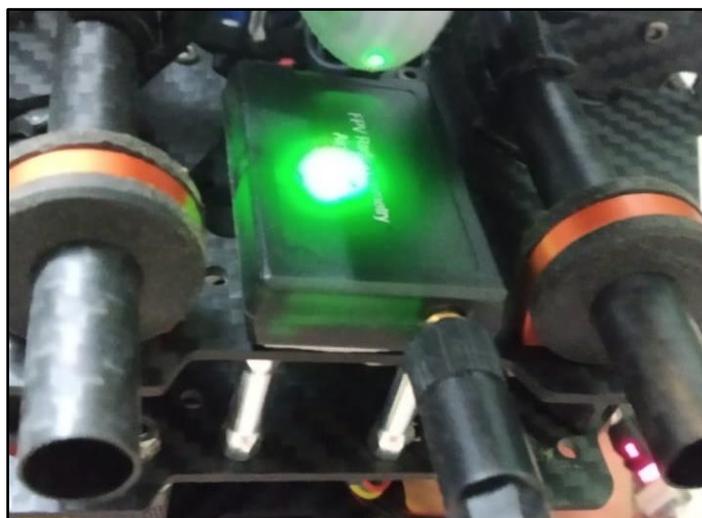


Figura 32-3. Módulo de telemetría en funcion

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.4 Prueba del módulo GPS

Para realizar la prueba el VANT se debe encontrar en un espacio abierto, para que exista una mejor recepción de señal. En el momento de la conexión el led del controlador de vuelo pasará a estar en color verde y el software de la estación de control de tierra, indicará en pantalla el lugar exacto en donde se encuentra ubicado el dron.

Tabla 27-3: Resultado de las pruebas realizadas en el módulo GPS

| Componente | Estado |
|---|----------|
| Led verde en el controlador de vuelo | Bueno |
| Posición en el Software Mission Planner | Correcta |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

En la figura 2-3, se observa la señal captada por el GPS en el software Mission Planer además del led en color verde en el controlador de vuelo.



Figura 33-3. Módulo GPS en función
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.5 Prueba del transmisor y receptor

Al momento de conectar el receptor a la fuente de tensión se encenderá un led verde indicando que la conexión de la alimentación es correcta y para realizar la prueba de comunicación entre el transmisor y receptor de vuelo se realiza mediante el Software Mission Planner en la opción SETUP y seguido en TRANSMISSION.... En donde al manipular los Switch configurados en el transmisor, se pueden observar las variaciones realizadas en el Software y por ende recibidas en el controlador de vuelo mediante el receptor que se encuentra ubicado en el VANT. Adicional a esto se debe comprobar que tanto el transmisor como el receptor se encuentren configurados con el mismo protocolo de comunicación, en este caso PPM.

Tabla 28-3: Resultado de pruebas realizadas en el transmisor y receptor

| Componente | Estado |
|---|--------|
| Led verde de encendido en el receptor | Bueno |
| Señal captada por el transmisor | Bueno |
| Protocolo de comunicación del transmisor y receptor | PPM |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Se puede evidenciar las pruebas realizadas en la figura 3-3 y comprobar el correcto funcionamiento del transmisor y del receptor, los que se encuentran configurados con protocolo PPM.

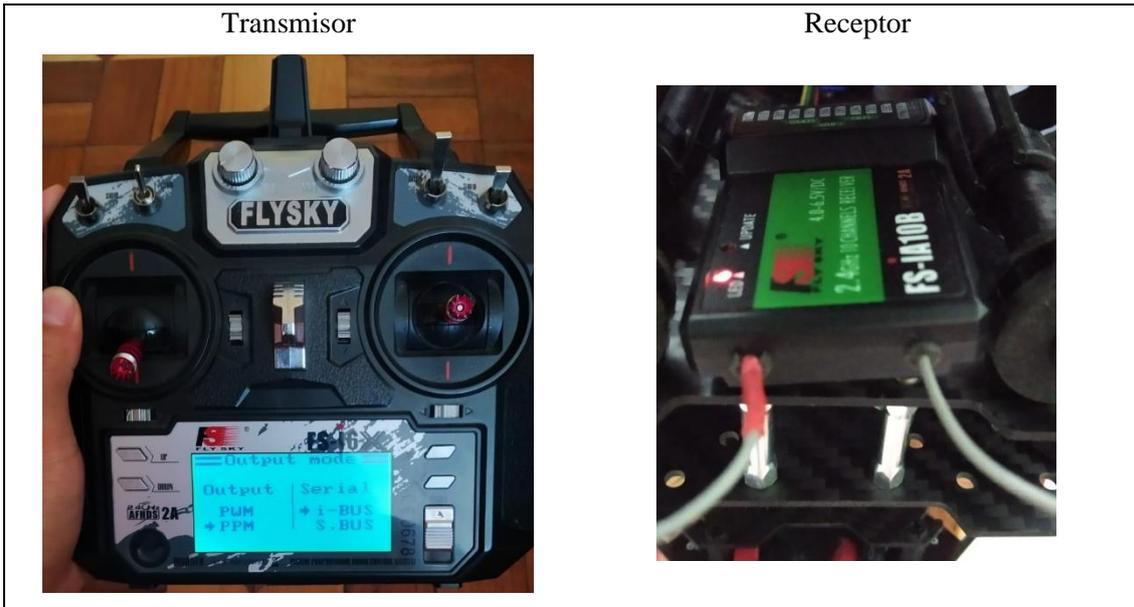


Figura 34-3. Pruebas realizadas en el transmisor y receptor
 Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.6 Prueba de los motores y los ESC

Los parámetros usados para realizar las pruebas en los motores y sus respectivos ESC son la aceleración y el sentido de giro, esta prueba se realiza sin hélices por seguridad. Se comprueba que los motores puedan acelerar y desacelerar correctamente así también que tengan el sentido adecuado según la posición en la que se encuentran ubicados.

Tabla 29. 3: Resultados de pruebas realizadas en los Motores y ESC

| Componente | Estado |
|-----------------|--------|
| Motor 1 | |
| Aceleración | Bueno |
| Desaceleración | Bueno |
| Sentido de giro | CCW |
| Motor 2 | |
| Aceleración | Bueno |
| Desaceleración | Bueno |
| Sentido de giro | CW |
| Motor 3 | |
| Aceleración | Bueno |
| Desaceleración | Bueno |
| Sentido de giro | CCW |
| Motor 4 | |
| Aceleración | Bueno |
| Desaceleración | Bueno |
| Sentido de giro | CW |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en figura 4-3, se comprueba que pueden acelerar y desacelerar de manera adecuada y su sentido de giro es correcto según su posición.

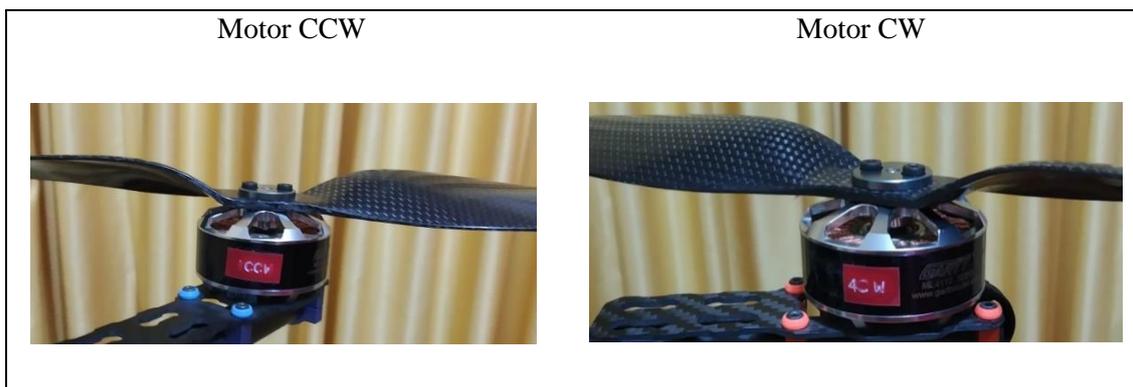


Figura 35-3. Pruebas realizadas en los motores CCW y CW

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.7 Prueba de la bomba

Para probar el funcionamiento de la bomba y del sensor flotador, se llena el tanque con agua y se conecta el sistema de fumigación, es decir a los conductos de agua y al aspersor. Se realiza la activación de la bomba con el transmisor y con el VANT en reposo, para poder observar algún problema o irregularidad que presente la bomba.

Tabla 30-3: Resultados de la prueba realizada a la bomba

| Componente | Estado |
|---|--------|
| Bomba | Bueno |
| Recepción de la señal desde el transmisor | Bueno |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la imagen de la izquierda de la figura 34-3, la bomba funciona correctamente y en la imagen de la derecha, el sensor de nivel cumple con su función al desactivar el circuito en el momento en que el agua se encuentre por debajo de un nivel seguro para la bomba.

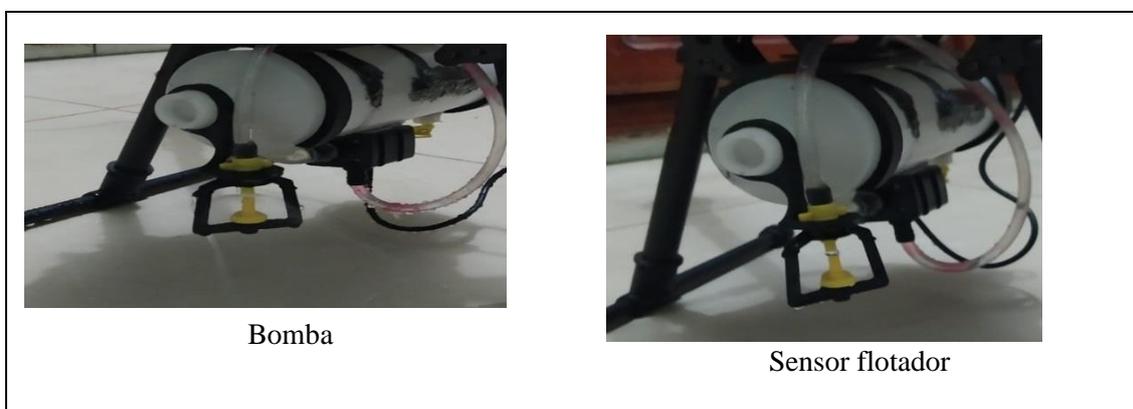


Figura 36-3. Pruebas realizadas en la bomba y el sensor flotador

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

3.10.8 Validación de la trayectoria

Para realizar la validación de la trayectoria se programó una misión en modo automático, en donde se seleccionó 11 puntos para cubrir el cultivo de papa.

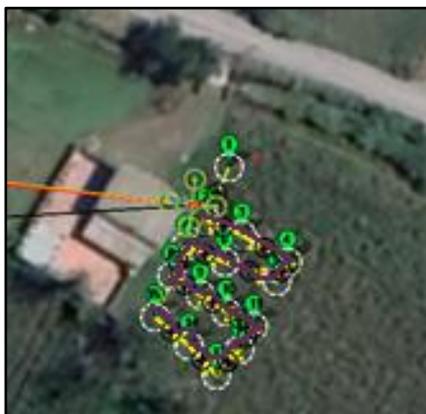


Figura 37-3. Trayectoria planificada
Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la figura 35-3, la línea morada muestra la trayectoria real realizada por el mismo, se presenta una ligera desviación debido a las condiciones ambientales como el viento.

3.10.9 Validación de la altura de vuelo del VANT para la fumigación

Para realizar las pruebas de vuelo, se seleccionó una muestra de 15 plantas al azar, que representa el 20% del total de la población, y se programó una misión con la altura calculada en el capítulo II de 1.4 m, recordando que se requiere un ancho de pulverización de 1.4m para una cobertura adecuada de la planta de papa.

Tabla 31-3: Validación de la altura de vuelo del Vant

| No. de prueba | Altura VANT teórica | Ancho de pulverización requerida | Ancho de pulverización Real | Error absoluto |
|---------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------|
| 1 | 1.4m | 1.40 m | 1.51 | 0.11 |
| 2 | | 1.40 m | 1.49 | 0.09 |
| 3 | | 1.40 m | 1.48 | 0.08 |
| 4 | | 1.40 m | 1.47 | 0.07 |
| 5 | | 1.40 m | 1.48 | 0.08 |
| 6 | | 1.40 m | 1.50 | 0.10 |

| | | | | |
|--------------|--|--------|------|--------------|
| 7 | | 1.40 m | 1.44 | 0.04 |
| 8 | | 1.40 m | 1.40 | 0.00 |
| 9 | | 1.40 m | 1.41 | 0.01 |
| 10 | | 1.40 m | 1.52 | 0.12 |
| 11 | | 1.40 m | 1.48 | 0.08 |
| 12 | | 1.40 m | 1.49 | 0.09 |
| 13 | | 1.40 m | 1.49 | 0.09 |
| 14 | | 1.40 m | 1.48 | 0.08 |
| 15 | | 1.40 m | 1.52 | 0.12 |
| Media | | | | 0.077 |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la tabla 31-3, la diferencia de valores entre el ancho de pulverización teórico y el real demuestran que no existe una diferencia significativa entre los datos, teniendo como error absoluto máximo de 0.12 y una media de 0.077, dado que el ancho de la planta de papa es de 0.45 m se garantiza su cobertura.

3.10.10 Validación de la velocidad de vuelo del VANT para la fumigación

Para efectuar esta prueba se requiere el uso de papel PH, junto con el valor de la velocidad calculada en el Capítulo II, que es de 1 m/s. Se seleccionaron 15 plantas al azar y se observa el porcentaje de cobertura en este papel, sabiendo que un valor adecuado de cobertura es del 50%.

Tabla 32-3: Validación de la velocidad de vuelo del Vant

| No de prueba | Velocidad del VANT | Porcentaje de cobertura adecuada | Porcentaje de cobertura Papel PH | Porcentaje de cobertura real | Error absoluto |
|--------------|--------------------|----------------------------------|--|------------------------------|----------------|
| 1 | 1 m/s | 50% |  | 50% | 0 |
| 2 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 3 | | 50% |  | 49% | 1 |
| 4 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 5 | | 50% |  | 50% | 0 |

| | | | | | |
|----|--|-----|--|-------|-----|
| 6 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 7 | | 50% |  | 48% | 2 |
| 8 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 9 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 10 | | 50% |  | 47% | 3 |
| 11 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 12 | | 50% |  | 48% | 2 |
| 13 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 14 | | 50% |  | 51% | 1 |
| 15 | | 50% |  | 50% | 0 |
| | | | | Media | 0.6 |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la tabla 32-3, los porcentajes de cobertura del papel PH rodean el 50% y no existe una diferencia significativa diferencia entre los valores teóricos y el real, teniendo como error absoluto máximo de 3 y una media de 0.6, por lo que se garantiza una cobertura adecuada en el follaje de las plantas de papa a una velocidad de 1m/s.

3.10.11 Validación del porcentaje de fumigación en las plantas

Se realiza esta prueba con el conocimiento de que una adecuada cobertura del fungicida en la planta de papa es del 33% como se explicó en el capítulo II. Si se divide en tres secciones a la planta: superior, media e inferior, es suficiente con que el fungicida alcance las hojas de la parte superior para garantizar la absorción y posterior distribución hacia toda la planta.

Tabla 33-3: Validación del porcentaje de fumigación en las plantas

| No de papel | Velocidad del VANT | Porcentaje de cobertura adecuada | Porcentaje de cobertura Papel PH | Porcentaje de cobertura real | Error absoluto |
|-------------|--------------------|----------------------------------|--|------------------------------|----------------|
| 1 | 1 m/s | 50% |  | 50% | 0 |
| 2 | | 50% |  | 48% | 2 |
| 3 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 4 | | 50% |  | 52% | 2 |
| 5 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 6 | | 50% |  | 49% | 1 |
| 7 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 8 | | 50% |  | 49% | 1 |
| 9 | | 50% |  | 48% | 2 |
| 10 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 11 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 12 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 13 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 14 | | 50% |  | 50% | 0 |
| 15 | | 50% |  | 49% | 1 |
| Media | | | | | 0.6 |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la tabla 33-3, el porcentaje de cobertura de funguicida en el papel PH ubicado en la cara superior del follaje de la planta rodea el 50%, por lo que se garantiza que el 33% de la planta es roseada por el aspersor.

Mediante la observación de un Ingeniero Agrónomo a las pruebas realizadas y los resultados del Sistema FAPV, concluye que el presente sistema funciona de manera adecuada y cumple con la función para el que fue creado. ANEXO1.

4 GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Cronograma

| ACTIVIDADES | | OCTUBRE | | | | | NOVIEMBRE | | | | | DICIEMBRE | | | | | ENERO | | | | | FEBRERO | | | | MARZO | | | |
|---|---|---------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|---------|----|----|----|-------|----|----|----|
| | | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S1 | S2 | S3 | S4 | S1 | S2 | S3 | S4 |
| Revisión de la literatura de investigaciones preliminares | P | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Identificación de los requerimientos del prototipo | P | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Idea e innovación | P | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diseño de la arquitectura del sistema | P | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Selección de los componentes | P | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calculos y diseño del sistema | P | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Implementación del prototipo | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pruebas del prototipo | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Elaboración del informe final | P | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 1-4. Cronograma

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

4.2 Recursos Materiales

Se presentan todos los costos de los materiales y componentes necesarios para la implementación del Sistema FAPV, junto con su respectivo costo. Como se puede observar en la tabla 1.4.

Tabla 1. 4: Validación económica del Sistema FAPV

| Componente | Cantidad | Valor Unitario (\$) | Valor Total (\$) |
|---|----------|------------------------|---------------------|
| Sensor de nivel flotador 36 | 1 | 5.99 | 5.99 |
| Micro bomba Anself | 1 | 12.99 | 12.99 |
| Tanque de almacenamiento de líquido 250ml | 1 | 1.20 | 1.20 |
| Conducto de agua | 20cm | 0.75 | 0.75 |
| Boquilla de aspersión rondo | 1 | 1.10 | 1.10 |
| Pixhawk 2.4.8 | 1 | 80.00 | 80.00 |
| Frame TAROT | 1 | 76.00 | 76.00 |
| Motores brushless 32OKV | 4 | 98.00 | 392.00 |
| Hélices TL2831 15X5.5 | 4 | 28.00 | 112.00 |
| ESC BLHeli 30A | 4 | 8.00 | 32.00 |
| Módulo de telemetría 3DR | 1 | 36.00 | 36.00 |
| Módulo GPS Ublox Neo M8N | 1 | 20.00 | 20.00 |
| Transmisor RC FlySky- i6X | 1 | 156.00 | 156.00 |
| Bateria LiPo 6s | 1 | 190.00 | 190.00 |
| Regulador de voltaje | 1 | 12.00 | 12.00 |
| Elementos electrónicos varios | | 15.00 | 15.00 |
| Impuestos | 1 | 120.00 | 120.00 |
| Útiles de oficina | | 28.00 | 28.00 |
| Transporte | | 35.00 | 35.00 |
| Elementos Varios | | 20.00 | 20.00 |
| | | Total | 1346.30 |

Realizado por: Reinoso Orozco, Katerine, 2021

Como se puede observar en la tabla 1.4, el valor total del Sistema AFPV asciende a un valor de 1346.30 dólares. Haciendo que el sistema FAPV tenga un costo inferior a los que existen en el mercado y cumpla con la misma funcionalidad de los mismos.

5 CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo la implementación de un sistema autónomo de fumigación para cultivo de papa mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado.
- Se empleó el software Solid Work para realizar el acoplamiento del sistema de fumigación al Vehículo aéreo no tripulado.
- Se montó el sistema de pulverización en la parte central inferior del Vant, para lograr que el centro de empuje coincida con el centro de gravedad y el sistema se encuentre equilibrado, para que todos los motores trabajen de igual manera y no se tenga mayor o menor desgaste entre cada uno de estos.
- Se seleccionó los componentes en base a los requerimientos del sistema, para lo que se tomó en cuenta las características técnicas de cada elemento brindado por el fabricante.
- Se seleccionó el Software Mission Planner debido a que soporta el protocolo de comunicación Mavlink, que es el mismo protocolo que soporta el módulo de telemetría para la comunicación con el Vant.

6 RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar la fumigación, evitar hacerlo en la lluvia y con vientos muy fuertes, debido a que, se presenta una variación en la trayectoria del Vant y los componentes electrónicos pueden sufrir daños.
- Ubicar las boquillas de tal manera que, al momento de iniciar la aspersión, el funguicida no interfiera con la estructura del marco, esto con el fin de evitar futuras corrosiones.
- Para posteriores investigaciones se recomienda trabajar con drones cooperativos para cubrir extensiones más largas de terreno.
- Investigar la manera en que, el vuelo del Vant sea más autónomo, en cuanto a, consumo de batería como la capacidad del líquido a cargar.

GLOSARIO

SISTEMA DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS): Se denomina de esta manera al conjunto formado por el vehículo aéreo no tripulado, el piloto y los controles que gobiernan a la aeronave.

VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (VANT): Es una aeronave que puede generar un vuelo de manera autónoma o controlada, sin necesidad de tener un piloto a bordo.

CLOCK WISE (CW): Es el movimiento que se relaciona a la dirección que toman las manecillas del reloj.

COUNTER CLOCK WIRE (CCW): Es el movimiento en sentido anti horario, es decir la dirección contraria a las manecillas del reloj.

TELEMETRÍA: Es una tecnología inalámbrica que ayuda al operador a rastrear, medir y monitorear dispositivos a distancia.

SETUP: Permite al usuario cambiar de configuración, según sea la necesidad.

GRAFICAL USER INTERFAZ (GUI): Es un programa informático que actúa como interfaz, mediante imágenes, objetos, gráficos, para representar la información de un proceso.

CAN BUS: Protocolo de comunicación para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos.

SWITCH O INTERRUPTOR: Es el dispositivo que desvía o interrumpe el curso de una corriente eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

ALDÁS, M. Uso de insecticidas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), por los socios de la corporación de asociaciones agropecuarias del Cantón Quero "COAGRO-Q. [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Ambato, 2013. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/3939>

BEBER, A.J. *Comportamiento Estructural de Vigas de Concreto Armado Reforzadas con Compósitos de Fibra de Carbono*. S.l.: s.n., 2003.

BONANNO, S., GONZALEZ, N. y IACCARINO, F. Uso de tecnología drone para controlar campos agrícolas [en línea]. S.l.: Universidad Argentina de la Empresa, 2014. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/2482>

BONGIOVANNI, R., MANTOVANI, E.C., BEST, S. y ROEL, Á. *AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. [en línea]. S.l.: , 2006. [Consulta: 3 marzo 2021]. Disponible en: www.iica.int.

CABREJA LÓPEZ, L.A. Propuesta de adaptación del software Mission Planner para supervisión de vehículos autónomos acuáticos de superficie. [en línea], 2017. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/7945>.

CABRERA, H. y ECOBAL, F. *Cultivo de papa en la region cajamarca* [en línea]. S.l.: Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA, 2002. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/930>.

CASADO REINA, J. *Desarrollo de un gateway de MAVLink para micro drones para gestión de vuelo autónomo* [en línea]. S.l.: Universidad Carlos III de Madrid, 2017. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/28274>.

DURAN, S.A. *Reglamento general de plaguicidas y productos afines de uso agrícola*. S.l.: , 1993.

GANDOR, F., REHAK, M. y SKALOUD, J. PHOTOGRAMMETRIC MISSION PLANNER FOR RPAS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. 40. S.l.: s.n., 2015.

GARCÍA, E. y FLEGO, F. Agricultura de Precisión. *Revista Ciencia y Tecnología* , 2008.

GARCÍA, J.E. Aspectos sobre las boquillas de aspersión en la aplicación de plaguicidas. *Boletín*

Técnico, Vol 29(1), pp. 86-94 [en línea]. S.l.: Universidad de Costa Rica, 1996. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/78819>

GONZÁLEZ, A., AMARILLO, G., AMARILLO, M. y SARMIENTO, F. Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. *Publicaciones e Investigación* [en línea], vol. 10, pp. 23, 2016. [Consulta: 6 marzo 2021]. ISSN 1900-6608. DOI 10.22490/25394088.1585. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1930>.

GUERRA JARA, G.S. Sistema de diseño de droneS [en línea]. S.l.: Universidad del Azuay, 2016. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6016>.

HINOJOSA, M. y RODRÍGUEZ, S. *Factores que inciden en el riesgo de morbilidad en los agricultores que utilizan plaguicidas para el cultivo de fresas, en la comunidad* [en línea]. S.l.: s.n., 2013. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2066>.

LANCE, P. *Introducción a los UAV's, Drones o VANTs de uso civil.* [en línea], 2014. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10419/130802www.econstor.eu>.

MARTÍNEZ REINOSO, F.F. Caracterización morfológica e inventario de conocimientos colectivos de variedades de papas nativas (*solanum tuberosum*. l) en la provincia de chimborazo [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2010. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/337>.

MARTY, J.A. *Vulnerability analysis of the mavlink protocol for command and control of unmanned aircraft thesis* [en línea]. s.l.: air force institute of technology wright-patterson afb oh graduate school of engineering and management, 2013 [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA598977>.

MAYANQUER GAVILANEZ, D.F. Sistema autónomo de pulverización para fumigación de plantaciones de frutilla asistido por un drone [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, 2019. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30072>.

MEIER, L., TANSKANEN, P., FRAUNDORFER, F. y POLLEFEYS, M. THE PIXHAWK OPEN-SOURCE COMPUTER VISION FRAMEWORK FOR MAVS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* [en línea],

vol. 38, 2011. [Consulta: 7 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.cvg.ethz.ch>.

MOLINA MOSCOSO, T.O. Reglamento que regule el Registro, Certificación, Control y Operación del Sistema de Aeronaves no Tripuladas (RPAS – Drones). [en línea]. S.l.: Quito: UCE, 2017. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14517>.

MORALES, C., RIQUELME, J., HIRZEL, J., FRANCE, A., PEDREROS, A., URIBE, H. y ABARBA, P. Coordinadores responsables: Encargado regional convenio INIA-INDAP, Región de O'Higgins. *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias* [en línea], 2017. [Consulta: 7 marzo 2021]. Disponible en: <https://inia.prodigioconsultores.com/handle/123456789/6713>.

MORENO MORENO, A.J. Diseño y evaluación de un sistema embebido para conectar al control de vuelo de un vant aplicado a la inspección de líneas de transmisión [en línea]. S.l.: s.n., 2019. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/23087>.

NAVIA, J. Optimización del proceso de fumigación agrícola mediante la utilización de los drones [en línea]. S.l.: Quevedo-UTEQ. , 2019. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3708>.

OROCIO, M. Control externo de cuadri-rotor mediante un sistema de visión de cámaras Optitrack [en línea]. S.l.: , 2019. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/unison/3332>

OVIEDO, J. Uso de los DRONES en la seguridad privada [en línea]. S.l.: Universidad Militar Nueva Granada, 2016. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7785>

PLAZA, D. *Navegación autónoma de drones y automatización de rutas aplicadas a la limpieza de edificios* [en línea]. S.l.: Universitat Politècnica de Catalunya, 2017. [Consulta: 9 marzo 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106479>.

PULECIO, R. *Drone Conceptos Básicos* [en línea]. S.l.: s.n., 2018. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=TjdYDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=drone+conceptos+basicos+&ots=AJhFfw1XD-&sig=wD5y0udpqqW4wVgi1dMA8Y7p0Q4#v=onepage&q=drone+conceptos+basicos&f=false>.

PUMISACHO, M. y SHERWOOD, S. *El cultivo de la papa en ecuador*. S.l.: Editorial Abya Yala, 2002.

REINOSO, M. y ZABALA, V. *Análisis costo-beneficio de la aplicación de la agricultura de precisión caso cacao*. S.l.: s.n. , 2012

ROCHE, L. y PARRA, F. Sistema de estabilización y control de un dron, mediante arduino para video vigilancia, de las barras de los equipos de la liga rodrigo paz. [en línea]. S.l.: Quito, 2019. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2120>.

RODRÍGUEZ, E. y ZABALA, M. *Desarrollo de sistema autónomo y prototipado robótico para fumigación de cultivos de tomate*. S.l.: Universidad Católica de Colombia, 2017.

RUIPÉREZ MARTÍN, P. *Diseño y fabricación de un dron mediante impresión 3d*. S.l.: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.

SENDER, J. y GÓMEZ, S. Impacto del uso de drones para fumigación de cultivos de arándanos en el departamento de La Libertad – Perú [en línea]. S.l.: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2017. [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/623455>.

SORGATO, V. *Hoy la ecología se estudia desde el aire*. El comercio [en línea], 2016. [Consulta: 12 marzo 2021]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ecologia-estudios-aire-dron-cambioclimatico.html>.

SUQUI, S. y PAREDES, J. Diseño u construcción de un prototipo de sistema de vuelo cooperativo de vehículos aéreos no tripulados para tareas de microfumigación. [en línea]. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13512>.

TELLO VARGAS, B., ALFONSO, C., HERRERA VICTORIO, B., GUILLERMO, E., ING, M.P. y ORIHUELA, R.J. universidad ricardo palma facultad de ingeniería. . s.l.: [sin fecha].

TOAPANTA CUNALATA, E.G. Diseño e implementación de un laboratorio de modelado y diseño mecánico asistido por computadora mediante software cad 3d-2d y solidworks en la universidad técnica de cotopaxi sede la maná cantón la maná provincia de cotopaxi [en línea]. S.l.: LA MANÁ / UTC / 2015, 2015. [Consulta: 6 marzo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3411>.

VALERO, C. *La evolución de la agricultura de precisión*. Revista de fruticultura, 2019.

VARAS B, E. *Bombas* [en línea]. S.l.: INIA, 2000. [Consulta: 4 marzo 2021]. Disponible en:
<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/36138>.

ANEXOS

Anexo A: Certificado de validación de la fumigación.

Anexo B: Datasheet del controlador de vuelo Pixhawk 2.4.8



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16/07/2021

| |
|--|
| INFORMACIÓN DE LA AUTORA |
| Nombres – Apellidos: KATERINE YAJAIRA REINOSO OROZCO |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA |
| Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN |
| Título a optar: INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN |
| f. Analista de Biblioteca responsable: |

