

# SISTEMA DE CAPTURA DE IMÁGENES PANORÁMICAS MEDIANTE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (DRONE) PARA EL DEPARTAMENTO DE COMUNICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Morales C. Ana E.  
aemorales@utn.edu.ec

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas-Universidad Técnica del Norte

**Resumen**—El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño de un sistema de captura de imágenes con utilización de un vehículo aéreo no tripulado (drone) y tecnología Open-Source para la captura y envío de fotogramas a una interfaz de usuario, además de la utilización de equipos microondas para el envío de los fotogramas al servidor master ubicado en el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

El diseño del sistema se realizó en base al Estándar IEEE 29148, que permite establecer los aspectos más relevantes a tomar en cuenta para el desarrollo del proyecto como lo son requerimientos funcionales, de arquitectura y de stakeholders, que sirven a su vez como fundamento para la selección de los componentes.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron en función de un cronograma de actividades, una vez culminado este proceso se procedió a la implementación del sistema con el enlace microondas del departamento de comunicación, en donde se pudo evidenciar la transmisión exitosa de los fotogramas captados al servidor master ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte.

**Palabras claves**— *Drone, Open-Source, Microondas.*

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente estamos en una época en la cual la tecnología ha ido avanzando progresivamente, hasta llegar al desarrollo de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) o también denominado drone, son vehículos pilotados mediante control remoto, en un inicio estos vehículos eran únicamente utilizados con fines militares en misiones de vigilancia o ataque sin embargo en la actualidad el uso de estas aeronaves

se ha expandido considerablemente para diversas aplicaciones de uso civil que pueden ir desde las inspecciones en infraestructuras hasta el uso para el esparcimiento o diversión

En la actualidad muchas instituciones y empresas han optado por la inclusión de vehículos aéreos no tripulados como medio de adquisición de información. En algunos casos para la obtención de imágenes de un determinado sector y en otros como herramienta de trabajo, como es el caso del drone que realiza fumigaciones.

El sistema que se plantea implementar consiste en la captura de imágenes panorámicas en formato 720x 480 en zonas urbanas en horas diurnas y para el departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte mediante la aplicación de un vehículo aéreo no tripulado el cual constará de una cámara, un procesador de imágenes y un módulo de transmisión para el envío de los datos al receptor el que poseerá la capacidad de control y dirección del vehículo no tripulado y del módulo de captura de imágenes basado en open-source, con esto el operario mantendrá una autonomía de movimiento y verificación de forma visual la ubicación del drone, en si esto permite aumentar el ángulo de captura para la toma de distintos ángulos e incluir la generación de nuevo contenido.

La transmisión de los datos será realizada por un módulo de comunicación inalámbrica basado en open-source desde el drone al operario esto implica que se realizará una red inalámbrica punto a punto con dos módulos de comunicación, los datos serán enviados vía microondas a un servidor ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación de la Universidad Técnica del Norte por medio de una infraestructura con la que cuenta el departamento de comunicación.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### A. Vehículo aéreo no tripulado

Un vehículo aéreo no tripulado (UAV) o también denominado dron es un vehículo pilotado mediante control remoto, en un inicio estos vehículos eran únicamente utilizados con fines militares en misiones de vigilancia o ataque sin embargo en la actualidad el uso de estas aeronaves se ha expandido considerablemente para diversas aplicaciones de uso civil.

En cuanto a la forma de pilotar este tipo de aeronaves se puede decir que pueden ser pilotados mediante cuatro modos de operación, las cuales se mencionarán a continuación:

- Modo manual
- Modo asistido
- Modo automático
- Modo autónomo

#### Clasificación basada en infraestructura

Se pueden ser clasificados en base a dos características: el grado en que sean accesibles para un actor determinado; y la tecnología de base y la infraestructura, donde se identifican cuatro categorías, como se puede observar en la Fig. 1:

- Drones aficionados: Fácilmente disponibles para su compra - por lo general no más de unos pocos miles de dólares - por cualquier interesado.
- Aviones militares y comerciales de tamaño medio: No disponibles para las personas debido al costo o requerimientos de infraestructura.
- Específicamente grandes aviones militares: Requieren infraestructura militar sustancial de operar y generalmente no son accesibles u operables por agentes ajenos a grandes ejércitos.
- Aviones de combate: Contienen tecnologías altamente sofisticadas, tales como características de baja observación, y no son accesibles a personal no military.

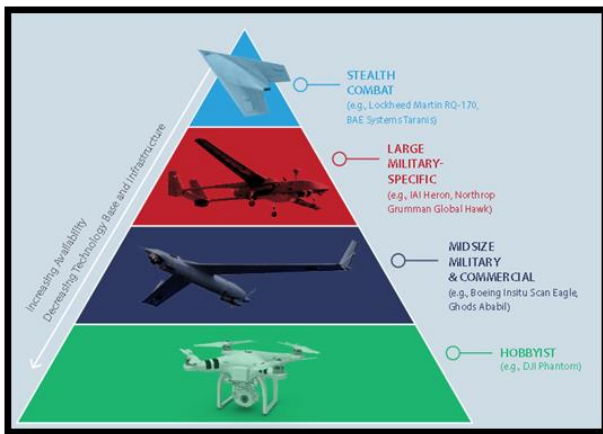


Fig. 1 Clasificación de vehículos aéreos no tripulados en base a su infraestructura

### B. Red Inalámbrica

Es un sistema de comunicaciones de datos que transmite y recibe datos mediante ondas electromagnéticas empleando el aire como medio de transmisión proporcionando conectividad inalámbrica de igual a igual o P2P (Peer to Peer) dentro de un área limitada.

Características principales.

- Dispone de anchos de banda similares a los que ofrecen las redes tradicionales cableadas.
- Facilidad de despliegue y movilidad para los usuarios.
- Nivel de seguridad inferior en comparación a las redes cableadas por lo que existe la posibilidad de sufrir interferencia de otros sistemas próximos.
- Pueden ser públicas o privadas.
- Utilizan básicamente ondas de radiofrecuencia en el rango de GHz.

### C. Módulos inalámbricos

Existen una gran variedad de módulos electrónicos destinados para la elaboración de redes inalámbricas, los cuales dependiendo de su radio de alcance pueden ser utilizados en redes PAN (Personal Area Network) como puede ser el caso de los módulos bluetooth, o también para elaborar redes con mayor alcance como por ejemplo los módulos Xbee o Wi-fi, siendo estos módulos unos de los más populares en el mercado para la elaboración de sistemas embebidos, domótica, radiocontrol entre otras aplicaciones por sus cortas dimensiones, peso y bajo coste económico.

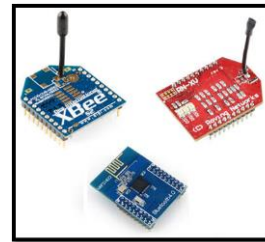


Fig. 2 Ejemplos de módulos electrónicos para la elaboración de redes inalámbricas

### D. Módulos Arducam

Son cámaras digitales opcionales como se puede observar en la Fig.3. Se trata de cámaras de bajo coste económico, pequeñas y de muy bajo peso. Existen una gran variedad de este tipo de cámaras, todo depende de la aplicabilidad que se les desee dar esto puede ser desde IoT hasta aplicaciones con sistemas embebidos además son compatibles con tecnologías open-source como por ejemplo Arduino.



Fig. 3 Ejemplo de un módulo tipo cámara de Arducam

### E. Comunicación Microondas

Se refiere a la transmisión de datos o voz a través de radiofrecuencias con longitudes de onda en la región de frecuencias de microondas.

Las microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas pasan fácilmente a través de la atmósfera con menos interferencia que otras longitudes de onda mayores.

Características principales.

- Existe más ancho de banda en el espectro de microondas que en el resto del espectro de radio.
- Su frecuencia va desde los 300Mhz hasta los 30Ghz.
- Tienen longitudes de onda relativamente pequeñas.
- Son usadas en programas informativos de televisión para transmitir una señal desde una localización remota a una estación de televisión mediante una camioneta especialmente equipada.
- Protocolos inalámbricos LAN, tales como Bluetooth y las especificaciones de Wi-Fi IEEE 802.11g y b también usan microondas en la banda ISM.

### F. Enlace Microondas

Para la transmisión de señales vía radio de muy alta frecuencia (ondas electromagnéticas) llamadas microondas, se utilizan dos estaciones, una emisora y otra receptora, que deben poder visualizarse directamente entre sí, y que utilizan antenas parabólicas (conjunto de emisor/captador de señal y reflector) de dimensiones adecuadas, según la longitud de onda de la señal a transmitir y de los márgenes de potencia disponibles.

El enlace puede ser terrestre “entre dos estaciones situadas sobre el terreno”, como se indica en la Fig.4, la cual consta de los elementos para establecer y realizar la comunicación, o espacial utilizando un satélite de comunicaciones como repetidor intermedio de la señal.

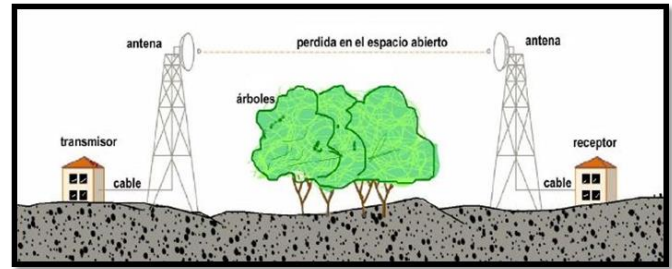


Fig. 4 Enlace microondas terrestre entre una estación receptora y una estación transmisora

### G. Hardware de código abierto

Es un hardware cuyo diseño se pone a disposición del público de modo que cualquiera puede estudiar, modificar, distribuir, hacer y vender el diseño o el hardware que se sustente en dicho diseño. El diseño a partir del cual se construye está disponible en el formato que se prefiera para que se hagan modificaciones en él. Idealmente, el hardware libre utiliza elementos y materiales inmediatamente disponibles, procesos estandarizados, infraestructura abierta, contenido no restringido y herramientas de diseño libres para aumentar al máximo la capacidad de los individuos de hacer y utilizar el hardware.

El hardware libre también denominado en inglés Open-source comparte la gran mayoría de los objetivos y métodos del software libre, aportando que los usuarios y diseñadores estudien su funcionamiento, poder modificarlo, reutilizarlo, mejorarlo y generar esta información para compartir en foros abiertos.

### H. Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos de código abierto basado en hardware y software fácil de usar. Nació en Interaction Design Institute Ivrea como una herramienta fácil para prototipado rápido, dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación.

Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios crear de forma independiente y, finalmente, adaptarlos a sus necesidades particulares.

Las placas Arduino se encuentran disponibles de dos maneras: ensambladas o en forma de kit. De manera general se puede decir que las placas de Arduino constan de entradas/salidas digitales, entradas/salidas análogas, dependiendo del tipo de placa pueden contener más de un pin PWM configurables. Cada pin de conexión puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA.

Las placas de Arduino van desde las más sencillas, con características mejoradas, orientadas a IoT, y también Arduinos pensados para llevar encima o "Shields". La diferencia entre las distintas placas de Arduino se encuentra en primer lugar en la tensión utilizada en las placas. Los microcontroladores con CortexM3 tienen un voltaje de 3,3

voltios, mientras que las placas con AVR utilizan una tensión de 5 voltios.

### III. SITUACIÓN ACTUAL

Se realizó una entrevista a la Técnica de Telecomunicaciones “Ing. Paola Tirira”, que se encuentra a cargo de las transmisiones vía microondas que realiza el canal universitario y se obtuvo la siguiente información:

En primera instancia se determinó que el canal universitario perteneciente al Departamento de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte es el encargado de la transmisión de las noticias más relevantes en temas concernientes a la casona universitaria y sector norte del país, motivo por el cual en determinadas ocasiones se requiere la movilización del personal.

El canal universitario trabaja con tecnología análoga con formato de pixeles de imagen de 720x480, sin embargo, los fotogramas pueden ser de un formato más grande debido a que se pueden modificar con el equipo que se encuentra en la unidad móvil antes de que estas puedan ser enviadas al servidor master.

Para la obtención de contenido visual, el canal universitario hace uso de cámaras de grabación que son manejadas por el personal del departamento, para poder realizar las capturas de imágenes las cámaras deben ubicarse sobre una superficie firme.

Otra manera con la que obtienen contenido visual en algunas ocasiones es mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado perteneciente al Ing. Christian Enríquez que desempeña las funciones de operador máster, camarógrafo y editor dentro del canal universitario. Los fotogramas que se obtienen se almacenan en una memoria Micro SD que se encuentra ubicada en el vehículo aéreo no tripulado, por tal motivo para hacer uso de los fotogramas se requiere que el drone aterrice para poder extraer la memoria Micro SD y mediante un adaptador de memoria enviar los fotogramas a un ordenador para finalmente poder realizar la transmisión de los datos mediante la utilización de un conversor análogo que va conectado al ordenador (puertos VGA, USB) y posteriormente switch de video que forma parte de los equipos de transmisión de la unidad móvil.

A pesar que actualmente se encuentran disponibles aplicaciones en el mercado que permiten el control de determinados modelos de drones además de la visualización de los fotogramas mediante el uso de tablets o teléfonos inteligentes su aplicación en el Departamento de Comunicación no sería la más indicada porque son dispositivos que no cuentan con entradas VGA y USB que son necesarias para la conexión con el conversor análogo el mismo que es el medio para conectarse con los equipos de transmisión.

La transmisión de la información obtenida en exteriores de la casona universitaria se realiza por medio de un enlace microondas terrestre. La antena de recepción se encuentra ubicada en la terraza del edificio principal de la institución y la información es recibida por el servidor master ubicado en las instalaciones del departamento de comunicación, mientras que la transmisión se realiza por medio de una unidad móvil que cuenta en su interior con los equipos para realizar la transmisión microondas. Para que la transmisión de los fotogramas se realice con éxito la antena de transmisión y recepción microondas deben encontrarse alineadas.

Finalmente, se concluye que la mejor manera de emplear los vehículos aéreos no tripulados junto a la tecnología de transmisión de datos vía microondas es que los fotogramas captados en el aire sean enviados inalámbricamente a un ordenador, lo cual respalda el desarrollo de este proyecto.

Para la realización de los enlaces microondas se debe hacer uso de un determinado número de equipos los cuales se mencionarán a continuación los equipos con los que consta una unidad móvil de microondas.

- Enlace de Microondas Portatil G. Com Bl 200m 2.4ghz S/N 08060052t/08060052r Complete Sintetized Portable Tv Link Composed By:8w Nom Transmitter, Receiver; 2x0.6mt Parabolics, 2 Outdoor Waterproof Boxes, Capacity 1 Video, 1 Audio.
- Switch de video Datavideo Se 800
- Sony Lmd 4420-Módulo de 4 Monitores Lcd
- Consola de audio Yamaha
- Fuente de poder Pyramid
- Frame para Tarjetas Análogas Audio y Video Link Electronics Pfm 210
- Tarjetas Vda Video
- Radio móvil Kenwood
- Radio portátil Kenwood
- Grabador reproductor en Dvd
- Monitor de televisión con entrada Av

### IV. DISEÑO DEL HARDWARE

El diseño de hardware del sistema de captura de imágenes se enfocó en la interconexión con los diferentes componentes electrónicos que lo conforman, además de otros aspectos importantes a considerar en los requerimientos del diseño, tales como:

- Drone con capacidad de carga de peso extra.
- Elementos electrónicos de dimensiones pequeñas, poco peso y bajo consumo de energía.
- Formato de imagen JPG.
- Resolución de imagen igual o superior de 800x600 pixeles.
- Módulos de comunicación inalámbrica con alta velocidad de trasferencia.

### A. Perspectiva de diseño

El sistema electrónico estará conformado por tres bloques principales de funcionamiento, Interfaz de Usuario (IU), Centro de Control (CCT) y Centro de Captura (CC) el cual a su vez se encuentra subdividido en cuatro secciones que son: captura, almacenamiento, comunicación y alimentación, con los que el sistema electrónico cumplirá con los objetivos anteriormente establecidos.

El primer bloque de funcionamiento es el Centro de Captura (CC), que se encontrará empotrado en el soporte de un vehículo aéreo no tripulado, será constituido por tres secciones la primera es el módulo tipo cámara y la placa procesadora de Arduino que conjuntamente tendrán la función de la captura de imágenes en el formato que se encuentra establecido dentro del Capítulo I, la segunda sección hace referencia a los requerimientos de alimentación energética misma que es de vital importancia para el funcionamiento del proyecto y la última sección será la encargada de la comunicación inalámbrica y envío de datos hacia la interfaz de usuario.

El segundo bloque de funcionamiento es la Interfaz de Usuario (IU), tendrá la funcionalidad de recepción de datos enviados desde el Centro de Captura (CC). Este bloque se encuentra constituido por dos secciones, la primera sección corresponde al módulo inalámbrico de recepción conjuntamente con una placa procesadora de Arduino que cumplen la función de recepción de los fotogramas y la segunda sección corresponde a la utilización del software para el almacenamiento de los fotogramas en la PC para su posterior envío vía microondas al servidor ubicado en el edificio central de la universidad, esto se realizará mediante la utilización del equipo con el que dispone el departamento de comunicación de la institución.

El tercer bloque de funcionamiento es el Centro de Control (CCT), será el encargado del funcionamiento, monitoreo y movilidad del vehículo aéreo no tripulado donde se encontrará instalado el primer bloque de funcionamiento.

### B. Requerimientos del sistema

El análisis de los requerimientos del sistema se realiza tomando como referencia el estándar ISO / IEC / IEEE29148: 2011, mismo que contiene disposiciones para los procesos y los productos relacionados con la ingeniería de requisitos, ha sido desarrollado con la finalidad de ser implementado en los sistemas y productos de software y servicios a lo largo del ciclo de vida. (ISO/IEC/IEEE, 2011)

El estándar da directrices para el formato de los elementos de información requeridos y relacionados permitiendo definir la construcción de un buen requisito que proporcione atributos y características que debe cumplir el sistema teniendo en cuenta la aplicación reiterativa a lo largo del ciclo de vida del sistema.

### C. Selección de hardware

La elección del hardware se realizó en función de los requerimientos del sistema, además de tomar en cuenta el factor peso que es valor determinante en la selección de los componentes. El orden en el cual se determinó los componentes es el siguiente: en primer lugar, se seleccionó el vehículo aéreo no tripulado (Hubsan X4 PRO) ya que en función a este se determina el peso máximo que puede tener el sistema, luego se continuó con el módulo cámara (OV2640), esto permite determinar el número de pines y otras características que requiere para su funcionamiento, posteriormente se procede a realizar la elección de la placa de procesamiento (Arduino Mega 2560 y Arduino Leonardo) en las cuales se ubican todos los componentes que corresponden al CC e IU respectivamente y finalmente se realiza la elección del módulo de comunicación inalámbrica (Bluetooth RN-41).

#### ▪ Drone Hubsan X4 PRO

El vehículo aéreo no tripulado es un elemento importante en el desarrollo del sistema debido a que cuenta en la parte inferior de su frame o marco con varios pines de conexión que son utilizados para la alimentación tanto del CC como del eje cardán. Dentro de las características principales del vehículo aéreo no tripulado se pueden citar las siguientes en la Tabla 1:

Tabla 1. Especificaciones técnicas del drone Hubsan X4 PRO

| Características        | Parámetros                        |
|------------------------|-----------------------------------|
| Tiempo de vuelo        | 20 minutos                        |
| Batería Li-Po          | 11.1 V-7000mA (3 celdas)          |
| Dimensión diagonal     | 370mm                             |
| Peso sin accesorios    | 1.06kg                            |
| Peso máximo            | 1.46kg                            |
| Sistemas de navegación | GPS, barómetro, orientación       |
| Modos de operación     | manual y mantenimiento de altitud |
| Return to home         | Si                                |
| Eje gimbal removible   | Si                                |

#### ▪ Módulo cámara OV2640

Actualmente se exhiben en el mercado algunos modelos de este tipo de cámaras que varían dependiendo de la resolución y aplicación, estas cámaras pueden ser omnivisión o aptina. En la Tabla 2 se menciona las características principales de este módulo Arducam.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del módulo OV2640

| Características                             | Parámetros   |
|---|--------------|
| Modo de captura                             | Omnivisión   |
| Tamaño óptico                               | 1/4 pulgadas |
| Resolución                                  | Hasta 2Mp    |
| Suministro de energía                       | 3.3 voltios  |
| Peso  | 20 gramos    |
| Formato de compresión                       | JPG          |
| Escudo Arducam                              | Si           |
| Funciones de control automático de imágenes | Si           |
| Nivel de Tensión                            | Bajo         |

- Escudo Arducam Rev.C+

Es un tablero de control para módulos de cámaras compatibles con Arduino. Proporciona una interfaz fácil de utilizar, así como una lista de bibliotecas de software. En la Tabla 3 se menciona las características principales de este módulo Arducam.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del Escudo Arducam

| Características      | Parámetros          |
|----------------------|---------------------|
| Dimensión            | 99x59mm             |
| Peso                 | 50 gramos           |
| Módulos cámara       | De 0,3 MP ha 5MP    |
| Tipos de cámaras     | Omnivisión y aptina |
| Voltaje de operación | 5-3 voltios         |
| Compatibilidad       | Arduino Mega 2560   |

- Arduino Mega 2560 y Arduino Leonardo

La función que cumple la placa de desarrollo Arduino en el sistema es la interconexión con los otros elementos electrónicos, el procesamiento de los datos obtenidos desde el IU y CC, interpreta los datos recibidos y ejecuta una orden programada de manera casi instantánea. En la Tabla 4 se menciona las características principales de la placa Arduino Mega 2560 (para el CC) y el Arduino Leonardo (para el IU).

Tabla 4. Especificaciones técnicas Arduino Mega y Leonardo

| Características      | Arduino Mega 2560 | Arduino Leonardo |
|----------------------|-------------------|------------------|
|                      | Parámetros        |                  |
| Placa Electrónica    | Atmega1280        | Atmega32u4       |
| Numero de pines      | 54                | 20               |
| Peso                 | 37 gramos         | 20 gramos        |
| Pines análogos       | 16                | 12               |
| Pines PWM            | 14                | 7                |
| Oscilador de Cristal | 16MHz             | 16MHz            |
| Memoria (Flash)      | 256Kb             | 32Kb             |
| Memoria (SRAM)       | 8Kb               | 2.5Kb            |
| Memoria (EEPROM)     | 4Kb               | 1Kb              |
| Pines UART           | 4                 | 2                |
| Voltaje de operación | 5 V               | 5 V              |
| Voltaje recomendado  | 7-12V             | 7-12V            |
| Voltaje límite       | 6-20V             | 6-20 V           |
| Conexión             | USB               | micro USB        |

- Módulo Bluetooth RN-41

Se caracteriza por ser utilizado en sistemas embebidos, automatización de casas, telemetría entre otras aplicaciones debido a su bajo peso, poco consumo de corriente y bajo coste económico. A continuación, en la Tabla 5 se muestra las características principales de este módulo de comunicación

inalámbrica que permite la transmisión de los fotogramas desde el CC al IU.

Tabla 5. Especificaciones técnicas del módulo RN-41

| Características            | Parámetros            |
|----------------------------|-----------------------|
| Velocidad de Transferencia | Hasta 3Mbps           |
| Alcance                    | Hasta 100 metros      |
| Estándar IEEE              | 802.15.1              |
| Suministro de Energía      | 3.3V                  |
| Certificado                | Por la FCC            |
| Configuración              | Vía UART              |
| Peso                       | 0,0016kg              |
| Dimensiones                | 13.4mm x 25.8mm x 2mm |
| Frecuencia                 | 2.402 - 2.480 GHz     |
| Costo                      | 25,95\$               |

#### D. Diagrama de Funcionamiento general

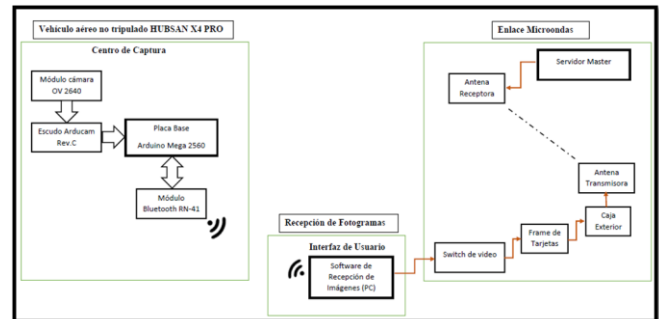


Fig. 5 Diagrama de bloques del sistema

En la Fig. 5 se representa el funcionamiento general del sistema, las secciones que lo conforman están representadas por caracteres numéricos la cuales se explicarán a continuación:

- Esta sección corresponde a la manipulación del vehículo aéreo no tripulado por parte del piloto y la comunicación que se realiza entre el CC que se encuentra ubicado en el eje cardán perteneciente al drone Hubsan X4 PRO y el IU los cuales son los responsables de la transmisión de imágenes a la PC la cual es manipulada por el operador.
- La segunda sección corresponde a la transmisión de los fotogramas que se capturaron y almacenaron en la primera sección, la transmisión de las imágenes se realizará por medio del equipo móvil con el que cuenta el canal universitario, en especial con el convertor análogo que se conecta directamente a la PC y también a los equipos de transmisión del canal.
- La tercera sección corresponde a la transmisión de las imágenes al servidor master ubicado en las instalaciones del canal universitario mediante los equipos con los que cuenta, las antenas de recepción y transmisión microondas son los componentes con mayor relevancia debido a que ellos conforman en enlace terrestre de transmisión.

## V. DISEÑO DEL SOFTWARE

Para que el sistema funcione de manera correcta todos sus componentes deben estar configurados adecuadamente, además la interconexión entre ellos debe realizarse de manera correcta. Específicamente se debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Comunicación bidireccional por la red inalámbrica.
- Visualización de mensajes informativos y de captura.
- Envío del fotograma a la Interfaz de Usuario.

El software de programación que se utilizó es perteneciente a la plataforma Arduino porque cumple con las características para la programación de todos los elementos electrónicos, este entorno de programación se denomina Arduino ID.

El sistema requiere del funcionamiento de dos programas uno para el Centro de Captura y otro para la Interfaz de Usuario. En lo que corresponde al programa que pertenece al CC se consideró el uso de algunas librerías que permiten el uso de distintos dispositivos y módulos que se integran en el sistema. A continuación, se menciona las librerías utilizadas:

- Librería SPI (#include <SPI.h>)
- Librería Wire (#include <Wire.h>)
- Librería Arducam (#include <Arducam.h>)

El uso de estas librerías permite que el módulo OV2640 interactúe de manera adecuada con los demás dispositivos, en base a la funcionalidad y programación que se realice, además se establece la velocidad de transmisión del sistema en 57600.

El programa correspondiente a la Interfaz de Usuario no requiere el uso de ninguna librería en especial sin embargo se establece la misma velocidad de transmisión establecida en el Centro de Captura, permitiendo establecer el canal de comunicación inalámbrico entre el CC e IU.

## VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### A. Funcionamiento del Módulo OV2640

En esta sección se procedió a comprobar la calidad de las imágenes obtenidas por el módulo OV2640 en horario diurno en el rango de 6 de la mañana a 6 de la tarde, con la finalidad de comprobar si la calidad de los fotogramas es igual. En las Figuras que se presentan a continuación se pueden observar tres fotogramas los cuales fueron capturados en horas de la mañana, medio día y tarde.



Fig. 6 Fotograma captado en horas de la mañana

El fotograma que se puede observar en la Figura 6 fue captado en horas de la mañana con presencia de mucha luz solar, como se puede observar la calidad de la imagen es muy buena.



Fig. 7 Fotograma captado a medio día

En la Figura 7 se puede apreciar un fotograma captado a medio día, en este caso el fotograma fue realizado en condiciones normales o luz natural, por lo tanto, se puede evidenciar que el módulo tipo cámara puede realizar la captura de fotogramas en estas condiciones climáticas sin ningún inconveniente.



Fig. 8 Fotograma captado en horas de la tarde

En la Figura 8 se observa un fotograma captado en horas de la tarde, sin alta concentración de luz natural, sin embargo, la imagen capturada es de muy buena calidad como se puede observar el balance de colores y la imagen son muy buenos, no presentan distorsión tampoco se muestran opacos.

Como se puede observar en las anteriores Figuras la calidad de los fotogramas se mantiene debido a que módulo cámara OV2640 cuenta con funciones de control automático de imágenes y controles de calidad de la misma. Comprobando de esta manera que el módulo cámara seleccionado cumple con el requerimiento del sistema de estar en la capacidad de capturar fotogramas a distintas horas del día.

## B. Comunicación Inalámbrica

En esta sección se procedió a comprobar la comunicación con los módulos de comunicación inalámbrica bluetooth RN-41 con la finalidad de realizar la transmisión de los fotogramas. Los módulos se encuentran configurados de manera que la autenticación con el IU se realiza por medio de un puerto de comunicación COM, además su vinculación se realiza de manera automática cambiando de rojo a verde como se observa en la siguiente Figura.

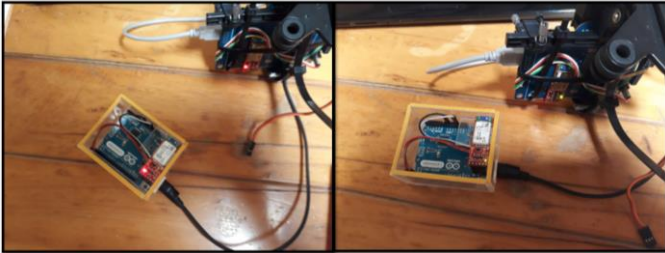


Fig. 9 Establecimiento de conexión entre el CC e IU

La prueba de funcionamiento de los módulos se realiza con la finalidad de comprobar que existe la transmisión de imágenes entre el CC y el IU, además de comprobar que los módulos cumplen con los requerimientos del sistema y que los fotogramas se transmiten en un tiempo promedio de 5 segundos y que su calidad se mantiene.

En la Figura 10 se puede observar como el programa se encarga de recibir, visualizar y guardar el fotograma enviado desde el CC, con una velocidad de transmisión de 57600 y por medio del puerto de comunicación COM 4 permite la comunicación con el CC.



Fig. 10 Visualización del fotograma transmitido desde el CC al IU

Como se puede comparar entre las Figuras capturadas y enviadas directamente a la PC en la sección 1 y la Figura 10 en la cual el fotograma es enviado inalámbricamente desde el CC al IU, la calidad de la imagen se mantiene, el mapa de bits se transmite exitosamente sin tener pérdida de datos que se traduzcan en imágenes mal pixeladas. Cumpliendo de esta manera con los objetivos planeados dentro de esta sección.

## C. Componentes en el eje cardán

Su comprobación se realiza en función de la movilidad que siga manteniendo el eje cardán con la inclusión de los componentes que conforman el CC. A continuación, se puede apreciar la secuencia de imágenes que se encuentran en la Figura 11.

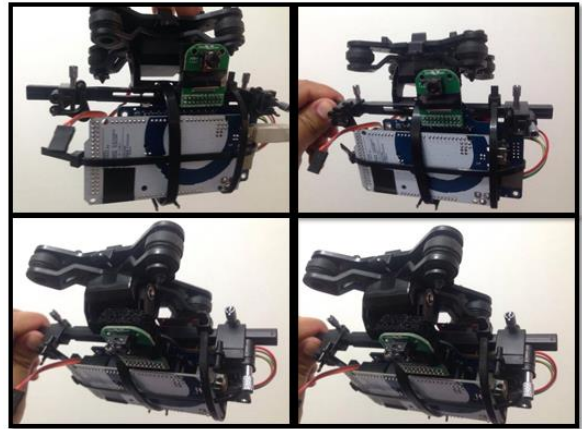


Fig. 11 Movimiento del eje cardán visto desde la parte frontal

Como se puede observar la Figura 11, corresponde a una secuencia de imágenes de movilidad del eje cardán una vez incluidos los elementos que comprenden el CC, en la secuencia de imágenes se puede observar que los elementos externos que se han incluido al eje no intervienen en su movilidad la cual es de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  en el eje y.

## D. Inclusión del sistema en el dron

En esta sección se procedió a realizar las pruebas finales de funcionamiento del sistema. El vehículo aéreo no tripulado se encuentra equipado con el eje cardán y los componentes del CC además mediante el IU se realizará la transmisión de las imágenes al ordenador.



Fig. 12 Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC y listo para realizar la prueba de vuelo

En la Figura 12 se puede observar que los motores del vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO se encuentran



encendidos además se encuentra equipado con el eje cardán en el cual se encuentra el CC, el que es el encargado de la captura y transmisión de los fotogramas.

Esta sección permite determinar si el sistema se encuentra listo para continuar con la siguiente etapa que consiste en la implementación del sistema con los equipos de transmisión con los que cuenta el canal universitario.



Fig. 13 Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC durante el vuelo

En la Figura 13 se puede observar que el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO se encuentra equipado con el CC y en período de vuelo, además se puede establecer mediante esta prueba que el tiempo de vuelo es de aproximadamente 10 minutos. Para llegar a esta fase de prueba se realizaron las pruebas preliminares establecidas en las secciones anteriores.

La comunicación inalámbrica y la transmisión de los fotogramas entre el CC ubicado en el vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO y el IU se realizaron con éxito tal como se muestra en la Figura 14, permitiendo determinar que el sistema de captura de imágenes se encuentra en buenas condiciones para proceder a la implementación con los equipos microondas que posee el canal universitario perteneciente a la Universidad Técnica del Norte.



Fig. 14 Fotograma capturado y transmitido desde el CC al IU mediante comunicación inalámbrica

### E. Implementación del enlace microondas

Se procedió a realizar la implementación del sistema de captura de imágenes con la ayuda del piloto y operador los cuales pertenecen al canal universitario. En la siguiente figura se puede observar al vehículo aéreo no tripulado en su fase de vuelo.



Fig. 15 . Vehículo aéreo no tripulado Hubsan X4 PRO equipado con el CC durante el vuelo

Como se puede observar en la Figura 15 el sistema se encuentra en funcionamiento, por lo tanto, se procede a realizar la captura de imágenes mediante el CC que se encuentra ubicado en el vehículo aéreo no tripulado, siendo el software ubicado en la PC el encargado de la recepción y almacenamiento de las imágenes como se puede observar en la Figura 16.

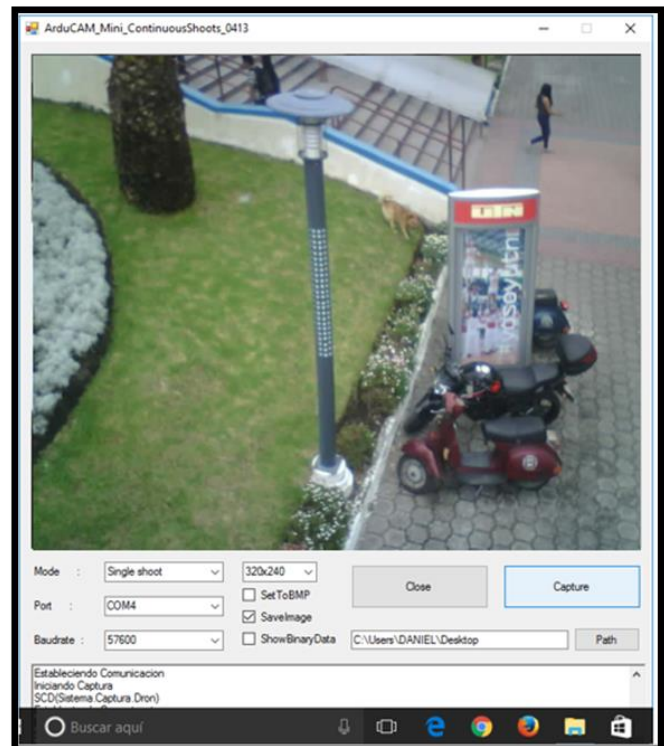


Fig. 16 Fotograma recibido en el software de recepción de imágenes

La PC utilizada por el operador se encuentra conectada a los equipos que permiten la transmisión de las imágenes por medio del enlace microondas, por ese motivo las imágenes que se reciben y almacenan en la PC van a ser visualizadas en los monitores ubicados en el switch de video que se encuentra en las instalaciones del edificio central y de manera inmediata son transmitidos al servidor master. Se puede apreciar con mayor claridad en las siguientes Figuras.



Fig. 17 Fotograma enviado desde el IU hasta los monitores ubicados en las instalaciones del edificio central

En la Figura 17 se observa el fotograma que se capturo con el sistema de captura de imágenes en los exteriores del edificio central siendo transmitido a los monitores que se encuentran conectados al switch y resto de equipos ubicados en las instalaciones del edificio central.



Fig. 18 Imagen capturada por el sistema de captura de imágenes y recibida en el servidor master

En la Figura 18 se observa de la misma manera el fotograma que fue capturado en los exteriores del edificio central con el sistema de captura de imágenes esta vez siendo transmitido a las oficinas de comunicación donde se encuentra el servidor master el cual es el destino final del fotograma donde el personal que corresponde a esta área le dará el uso correspondiente a la imagen para la creación de nuevo contenido para el canal universitario.

## VII. CONCLUSIONES

- Se pudo concluir que en la actualidad se exhiben en el mercado una gran variedad de vehículos aéreos no tripulados, que se encuentran diseñados para cumplir con determinadas aplicaciones entre ellas se encuentran

vehículos aéreos no tripulados diseñados para entrenamiento, iniciación, aplicaciones militares o aplicaciones civiles, además de caracterizarse debido a sus diseños de arquitectura lo que les permite tener un amplio campo de aplicación.

- Se concluyó que al tratarse de un sistema de captura de imágenes los módulos que tengan relación directa con la cámara deben contar con características técnicas que incluyan mayor capacidad de procesamiento, memoria de programa (flash) y memoria de datos (SRAM) para el almacenamiento temporal de la imagen antes de su transmisión.
- Durante el diseño del sistema de transmisión inalámbrica se concluyó que la ubicación del módulo receptor y transmisor es un factor muy importante a tomar en cuenta, porque al tratarse de una red punto a punto (P2P) se establece un área de cobertura en la cual es posible realizar la transmisión de los datos, además se pudo evidenciar que las especificaciones técnicas establecidas en las hojas de datos de los módulos varían drásticamente en lo que corresponde a distancia.
- Se logró concluir que cuando se emplea vehículos aéreos no tripulados en un sistema, los elementos externos deben cumplir con determinadas características técnicas y de diseño, como lo es el peso, dimensiones y consumo de energía, porque estos factores afectan de manera directa en el tiempo de vuelo del dron, además deben estar bien asegurados porque podría sufrir una caída abrupta que como consecuencia tendrá el daño del elemento.
- Durante el desarrollo del proyecto se pudo concluir que el manejo del vehículo aéreo no tripulado se facilita para personas que tienen destreza en el manejo de joystick debido a que es similar al control del vehículo aéreo no tripulado.
- Durante la transmisión de los fotogramas por medio del enlace microondas se debe realizar pruebas preliminares para determinar que la antena de transmisión y recepción están alineadas de manera correcta, debido a que si no fuese ese el caso se presentaría demasiada interferencia al momento de la recepción de las imágenes.
- Al momento de la implementación del sistema de captura de imágenes con los equipos del enlace microondas se observó que las imágenes que son recibidas por la PC en el IU se visualizan de manera simultánea en los monitores que se encuentran conectados al switch de video y el servidor master.
- Al estar los fotogramas capturados en el formato de 800x600 el canal universitario puede hacer uso de estas imágenes cumpliendo con los parámetros técnicos que requiere el canal para su utilización en el desarrollo de contenido informativo que ellos crean pertinente.

## REFERENCIAS

- [1] Ramos Álvarez, M. (2012). *Principios de Electrónica*. México: Red Tercer Milenio
- [2] Huidrobo, J. M. (2011). *Telecomunicaciones- Tecnologías, redes y servicios*. Madrid, España: Ra-ma
- [3] Fourouzan, B. (2002). *Transmisión de Datos y redes de comunicación*. Madrid: McGraw-Hill
- [4] Aranda, D. (2014). *Electrónica- Plataformas Arduino y Raspberry PI*. Buenos Aires: Fox Andina.
- [5] Aristizabal Gómez, A. (11 de noviembre del 2010). *Electrónica Actual*
- [6] Boxall, J. (2013). *Arduino Workshop A Hands-On Introduction*.
- [7] Floyd, T. (2008). *Dispositivos electrónicos*. México: PEARSON EDUCACIÓN
- [8] Ordoñez, J. L. & Huidrobo, J. M. (2013). *Comunicaciones por radio- tecnologías, redes y servicios de radiocomunicación*. Madrid, España: Ra-ma
- [9] Saura, R. & González A. (2015). Aplicaciones al periodismo, *Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid, España: Gráficas Arias Montano S.A
- [10] Soto, D. (2012). *Interacción hombre-robot con vehículos aéreos no tripulados basada en visión* (Tesis de Maestría). Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México.
- [11] Chicaiza, F. & Chuchico C. (2015). *Implementación de un sistema de piloto automático basado en una plataforma FPGA para la navegación autónoma del vehículo aéreo no tripulado de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga* (Tesis de Grado). Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.
- [12] Sur Advantage Company Inc. (1996-2016). *Switch De Video Datavideo Se 800*. Recuperado de <https://www.southernadvantage.com/DataVideo-SE-800-DV-Digital-Video-Switcher.html>
- [13] Sony Corporation. (2004-2016). *Monitores de producción LCD*. Recuperado de <http://www.sony.es/pro/product/broadcast-products-professional-monitors-lcd-production/lmd-4420/features/#features>
- [14] Microchip Technology Inc. (1998-2016). *Embedded Wi-Fi*. Recuperado de <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/human-interface/rn-software/wifly>
- [15] Drone Spain. (2014-2017). *Tipos de drones aéreos*. Recuperado de <http://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>
- [16] Arducam. (2015). *Camera Modules*. Recuperado de <http://www.arducam.com/>
- [17] HADA. (2016). *Hada Electronics*. Recuperado de <http://www.hadaelectronics.com/Tutoriales/?tutorial=4>
- [18] Arduino. (30 de noviembre de 2015). *Arduino.cc*. Recuperado de <http://www.arduino.com>
- [19] Aprenderaprogramar. (2016). *Aprenderaprogramar.com*. Recuperado de <http://aprenderaprogramar.com/>
- [20] Martínez, S. (23 de marzo 2014). *es.slideshare.net*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/witwicky/tipos-de-arduino-y-sus-caracteristicas>
- [21] Kits-Electrónica. (2016). *Kits de electrónica y circuitos*. Recuperado de <http://www.kitelectronica.com>
- [22] PROMETEC. (2016). *PROMETEC*. Recuperado de <http://www.prometec.net>
- [23] Robo-Help. (2005). *Automatización y Electrónica*. Recuperado de [http://robohelpnews.blogspot.com/2015\\_07\\_01\\_archive.html](http://robohelpnews.blogspot.com/2015_07_01_archive.html)
- [24] Melgoza, J. (2013). *Jonathanmelgoza*. Recuperado de <http://jonathanmelgoza.com/>