

**CLASIFICACIÓN DE ESPECIES ANIMALES A TRAVÉS DE UN DISPOSITIVO  
AÉREO NO TRIPULADO**

**JUAN DAVID CASTRILLÓN MAZO  
EDWAR HERNÁNDEZ ÁLVAREZ  
JONY ADRIAN CARMONA FIGUEROA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA  
MEDELLÍN  
2014**

**CLASIFICACIÓN DE ESPECIES ANIMALES A TRAVÉS DE UN DISPOSITIVO  
AÉREO NO TRIPULADO**

**JUAN DAVID CASTRILLÓN MAZO  
EDWAR HERNÁNDEZ ÁLVAREZ  
JONY ADRIAN CARMONA FIGUEROA**

**Trabajo de grado para optar por el título  
de Tecnólogo en Mecatrónica**

**Asesor**

**Carlos Alberto Valencia Hernández  
Ingeniero de instrumentación y control**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECATRÓNICA  
MEDELLÍN  
2014**

## CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	9
1. EL PROBLEMA.....	10
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	11
3. OBJETIVOS.....	12
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
4. MARCO TEÓRICO.....	13
4.1 CUADRICÓPTERO.....	13
5. METODOLOGÍA.....	39
5.1 TIPO DE PROYECTO.....	39
5.2 MÉTODO.....	39
5.3 POBLACIÓN.....	39
5.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	39
5.4.1 Fuentes primariase.....	39
5.4.2 Fuentes secundarias.....	39
6 RESULTADO DEL PROYECTO.....	40
7 CONCLUSIONES.....	56
8 RECOMENDACIONES.....	57

BIBLIOGRAFÍA.....	58
CIBERGRAFÍA.....	59
ANEXOS	

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Tricóptero casero .....	14
Figura 2 Cuadricóptero con coraza .....	15
Figura 3 Cuadricóptero última generación .....	15
Figura 4 Hexacóptero propiedad de la policía británica .....	16
Figura 5 Octocóptero usado en filmaciones outdoor.....	17
Figura 6 Volocopter V200, primeras pruebas .....	18
Figura 7 Modelo virtual Volocopter V200 .....	19
Figura 8 Modelo real, Volocopter V200.....	19
Figura 9 Ejemplar Holstein.....	20
Figura 10 Ejemplar Jersey .....	21
Figura 11 Ejemplar Normando .....	22
Figura 12 Ejemplar Pardo Suizo .....	22
Figura 13 Ejemplar Ayrshire .....	23
Figura 14 Ejemplar Guernsey .....	23
Figura 15 Niveles de procesamiento de imágenes .....	24
Figura 16 Forma de la matriz f.....	25
Figura 17 Ejemplo de iluminación direccional .....	26
Figura 18 Fundamentos de la cámara oscura .....	27
Figura 19 Distancia focal .....	28
Figura 20 Influencia de la distancia de los objetos en la distancia focal .....	28
Figura 21 Angulo de visión .....	29
Figura 22 Posición de la cámara en el cuadricóptero .....	30
Figura 23 Etapas del tratamiento de imágenes .....	31
Figura 24 Representación de un pixel .....	32
Figura 25 Objetos claros sobre fondo oscuro .....	34

Figura 26 Histograma de la imagen .....	35
Figura 27 Umbralizada con un umbral de 76 .....	35
Figura 28 Lenna a 256 niveles de gris .....	35
Figura 29 Lenna con un umbral bajo .....	36
Figura 30 Lenna con un umbral intermedio .....	36
Figura 31 Lenna con un umbral alto .....	36
Figura 32 Proceso de tratamiento de imágenes en el laboratorio.....	40
Figura 33 Imagen binalizada.....	40
Figura 34 Identificación de bovino .....	41
Figura 35 Cuadricóptero con el cual se desarrolla el proyecto .....	42
Figura 36 Parte frontal del cuadricóptero .....	43
Figura 37 Sistema eléctrico/electrónico .....	44
Figura 38 Grados de libertad de un cuadricóptero.....	45
Figura 39 Movimiento Yaw .....	45
Figura 40 Movimiento Pitch.....	46
Figura 41 Movimiento Roll .....	47
Figura 42 Movimiento vertical .....	47
Figura 43 Ubicación de la cámara en el cuadricóptero .....	48
Figura 44 Distancia 20 cm .....	49
Figura 45 Distancia 40 cm .....	49
Figura 46 Distancia 60 cm .....	50
Figura 47 Distancia 80 cm .....	50
Figura 48 Montaje para la obtención de las imágenes de calibración.....	51
Figura 49 Imágenes de calibración de la cámara .....	52
Figura 50 Parámetros extrínsecos de la cámara .....	52
Figura 51 Coordenada error imagen (-1;1) pixel.....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 modelo matemático de la cámara.....	53
---	----

## **RESUMEN**

Nuestro país tiene una vocación agropecuaria en donde la ganadería ha sido uno de los pilares de este sector. El monitoreo y control del ganado en general en grandes extensiones de tierra requiere en muchos casos altos costos en tiempo y mano de obra calificada. Este trabajo propone un sistema de rastreo e identificación de ganado por medio de un vehículo aéreo no tripulado (Drone) el cual empleando una cámara y un algoritmo de visión artificial implementado en el software MATLAB puede establecer la cantidad de bovinos en un área determinada y su ubicación aproximada en el terreno. Igualmente en este trabajo se describen las pruebas realizadas a nivel de laboratorio con el fin de establecer la posibilidad de ser implementado en exteriores.

## INTRODUCCIÓN

Se desea utilizar un sistema robótico no tripulado para hacer tomas aéreas, las cuales nos permitan identificar poblaciones animales en una determinada zona, mediante un sistema de tratamiento de imágenes el usuario puede darse cuenta de las poblaciones animales (bovinos), y así poder identificarlas para su posterior conteo y así llevar a cabo un inventario sólido, efectivo, rápido y seguro para el mismo, ya que lo podría llevar a cabo desde la comodidad de su hogar.

Inicialmente se concibe el proyecto como ejercicio de laboratorio para que en un futuro se pueda desarrollar como proyecto aplicado a zonas externas.

Queremos estar a la vanguardia de las universidades internacionales con proyectos que ayuden al mejoramiento de la calidad de vida de las personas en las zonas rurales de nuestra región. Uno de los mayores retos para nosotros en este proyecto es la topografía antioqueña, ya que somos conscientes que vivimos rodeados por maravillosos paisajes y estos además de belleza nos deleitan con su variedad de pisos térmicos, los cuales a su vez presentan diferentes desafíos como lo son las corrientes eólicas, precipitaciones en las montañas y extensas zonas de bosques.

Nos espera un gran reto, pero también la satisfacción de presentar un servicio de alta calidad que será de gran utilidad en la sociedad y con lo cual damos nuestro aporte al mejoramiento continuo y desarrollo de herramientas para el fortalecimiento de sectores como el rural.

## **EL PROBLEMA**

La compleja topografía de nuestra región andina hace de ésta una zona muy rica en paisajes, agricultura y ganadería, además en ciertas áreas muy peligrosas debido a la erosión y altos grados de inclinación que presenta.

En el sector agropecuario, nuestros campesinos se ven en riesgo para el conteo de sus especies animales (bovinos), ya que en muchas oportunidades sus fincas o parcelas han sido plantadas con minas antipersona sembradas por grupos al margen de la ley, y hacen del recorrido diario un peligro para la integridad tanto personal como de sus familiares y empleados.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Será posible desarrollar un algoritmo que nos sirva para hacer el tratamiento de una imagen por medio de sus píxeles, con el cual podamos lograr el conteo de un hato ganadero y para la consecución de esta imagen utilizar un dispositivo móvil no tripulado?

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Cuadricóptero como tal lo hemos adquirido a través de internet e importado desde la República de China, a una empresa constructora llamada WLTOYS.

Con la implementación de esta aeronave no tripulada se pretende dar mayor agilidad y seguridad al sector agropecuario, ya que está equipado con sensores y controladores con altas prestaciones y este prototipo servirá para en un futuro con apoyo del grupo de investigación GARPE, sirva para posteriores investigaciones, modificar y mejorar su hardware y su software como método de enseñanza y aprendizaje.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar un dispositivo aéreo no tripulado controlado por radio control, para la clasificación de especies animales, mediante sistema de tratamiento de imágenes.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Caracterizar el cuadricóptero y su sistema de visión.

Diseñar algoritmo de tratamiento digital de imágenes.

Implementar pruebas de laboratorio.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 CUADRICÓPTERO**

Un cuadricóptero es una aeronave del tipo PVTOL (Planar Vertical Take Off and Landing), esto significa que puede despegar y aterrizar en forma paralela al plano terrestre, lo cual da una gran ventaja para la navegación en ambientes interiores o espacios pequeños.

Aeronaves de este tipo están siendo utilizados en una gran cantidad en misiones, que responden a requerimientos de fuerzas armadas, de seguridad, organismos gubernamentales, organizaciones civiles, empresas privadas o universidades.

Desde el punto de vista mecánico en un cuadricóptero las únicas partes móviles son las hélices, dado que están acopladas directamente a los ejes de los motores no es necesario implementar ningún tipo de mecanismos de transmisión. Una ventaja es la cancelación de torque total que se obtiene, ya que dos motores giran en una dirección y los otros dos giran en dirección contraria, lo cual permite dejar de lado consideraciones respecto a la estabilización del dispositivo en el eje vertical.

Actualmente en el mercado encontramos diferentes tipos de copteros, los cuales tienen similitudes, las cuales son bastidor, hélices y centro de comando, pero sus diferencias radican en el número de hélice utilizadas para darle vuelo.

Podemos utilizar cualquiera de las siguientes aeronaves para ejercicios indoor y outdoor, estos poseen las características para el vuelo en cualquiera de las dos locaciones, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas.

Cóptero de 3 hélices: Utilizados comúnmente por amantes del aeromodelismo como proyecto de interiores (indoor).

Figura 1 Tricóptero casero



Este es un tricóptero casero de tan sólo 300 gramos que se basa en un pequeño Arduino Pro Mini con un conjunto de giroscopios para su estabilización mediante AHRS. El chasis fue diseñado con Sketchup de Google y las piezas fueron cortadas con una cortadora láser.

A pesar de que su construcción es más económica es menos estable y posee partes móviles en la estructura (cola móvil por un servo), bajo empuje y menos tiempo de vuelo (porque los motores tienen que girar más rápido para mantenerlo en el aire).

Cóptero de 4 hélices: Mecánicamente más simple que el tricóptero. Posee 1/3 más de empuje pesando casi lo mismo y suele ser más estable ya que no tienen partes móviles en la cola accionadas por un servo, tienen más tiempo de vuelo debido a que pueden llevar baterías más grandes y a que los motores trabajan a menos revoluciones, no hay redundancia: si un motor falla... cae.

Figura 2 Cuadricóptero con coraza



Figura 3 Cuadricóptero última generación



Cóptero de 6 hélices: Llamado hexacóptero, este dispositivo aéreo no tripulado incorpora en su estructura 6 hélices, las cuales le ayudan y mejoran su capacidad de vuelo en exteriores (outdoor).

Figura 4 Hexacóptero propiedad de la policía británica



Este hexacóptero es propiedad de la Policía Británica y pesa 1,2 kg, posee seis dispositivos de rotor y tiene una duración de vuelo de hasta 36 minutos, además puede llevar alrededor de 1 kg de peso, este curioso aeromodelo de un cóptero con 6 hélices, está equipado con un localizador GPS y lleva integrada una cámara de alta definición que ofrece unas imágenes increíbles de sus vuelos.

Cóptero de 8 hélices: Tanto los cóptero de 6 como los de 8 hélices son utilizados en filmaciones donde sus rotores permiten el posicionamiento estático en el aire y debido a su masa el viento no influye en la estabilidad del mismo, además pueden cargar pesos más elevados.

Figura 5 Octocóptero usado en filmaciones outdoor



Esta es una imagen por AF Marcotec en colaboración con el dúo Georgiew Nikolaj Rinderknecht y Martin, un experto en filmación que utiliza su helicóptero de 8 hélices por radio control y una cámara SONY FS700.

Cóptero de 18 hélices: La compañía alemana e-volo acaba de presentar el "Volocopter V200", un helicóptero con 18 motores independientes y otras tantas hélices que es capaz de llevar a dos pasajeros con un peso máximo total de 450 kilos.

El Volocopter V200 se alimenta de dos baterías que le otorgan una autonomía de vuelo de unos 20 minutos ideal para efectuar pequeños recados como ir a buscar el pan los domingos.

Figura 6 Volocopter V200, primeras pruebas



La compañía reconoce que la duración de las baterías da como para comprar el pan, pero no el pan y el periódico, así que trabaja en una versión dotada de un motor híbrido de gasolina que sirve para recargar las baterías que alimentan los motores.

La maniobrabilidad del Volocopter es muy precisa, como utiliza varias hélices fijas en vez de una sola hélice de paso variable, la dirección se controla incrementando las revoluciones de distintos grupos de hélices.

El hecho de que la hélice no sea de paso variable también impide el realizar maniobras de auto rotación para amortiguar el descenso en caso de fallo del motor.

Figura 7 Modelo virtual Volocopter V200



Desde e-Volo restan importancia a este detalle y explican que la cantidad de motores aporta la suficiente redundancia como para que no haya peligro en caso de que falle uno.

Figura 8 Modelo real, Volocopter V200



El Volocopter, el proyecto de un futurista helicóptero eléctrico que se empezó a gestar hace dos años, logró completar su primer vuelo a control remoto en un

hangar de Karlsruhe, en el suroeste de Alemania, alcanzando los 20 metros de altura.

A continuación abordaremos las clases de bovinos que más se adecuan a la topografía y necesidades de nuestro país, ya que nuestro proyecto está orientado a la clasificación de especies animales, especialmente las bovinas y con ello ayudar a tecnificación del sector agropecuario.

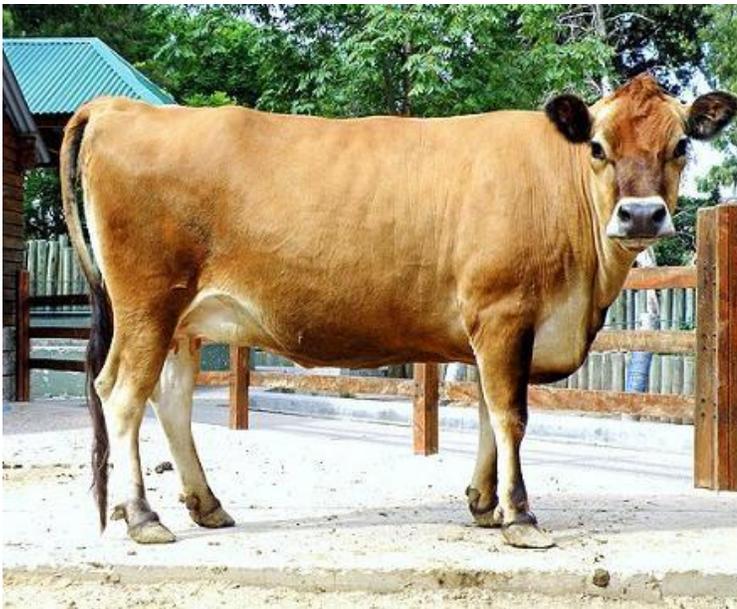
Holstein: originaria de Holanda. Hacia 1857 se introdujo a EEUU y a Colombia se importó el primer ejemplar en 1868, es una de las razas de mayor producción de leche en el mundo con lactancias de 305 días hasta de 25000 Kg, con porcentaje de grasa de 3.2 %. El Holstein debe tener características ideales como: Habilidad lechera, no tener acumulación de grasa ni de partes toscas, considerando la época de lactancia, en Colombia se encuentra distribuida en el altiplano Cundí boyacense, Nariño, Cauca, Valle, Antioquía y Santanderes especialmente.

**Figura 9 Ejemplar Holstein**



Jersey: originaria posiblemente de la India. a Colombia ingresó en 1946 por Alfonso López Pumarejo y luego se hizo una segunda importación en el año 1951, destinando estos animales en cruzamientos con animales criollos y cebú, se localiza en los departamentos de: Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Magdalena, Meta, Nariño, Tolima y Valle

Figura 10 Ejemplar Jersey



Normando: originario de la provincia de península de Normandía en el norte de Francia. Por la diferencia en los sistemas de explotación se establecieron 2 tipos de animales: Uno de gran talla y buena aptitud para engorde, y otro de menor tamaño, más lechero y más adaptable a terrenos pobres, se localiza en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Cundinamarca, Córdoba, Huila, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima, Valle del Cauca, especialmente.

Figura 11 Ejemplar Normando



Pardo suizo: se definió como una raza para carne, leche y trabajo, a Colombia llegaron los primeros ejemplares en 1928 importados por la Secretaria de Agricultura de Antioquia, se pueden ubicar en: Antioquia, Atlántico, Bolívar, Boyacá, Cauca, Cesar, Córdoba, Guajira, Cundinamarca, Huila, Magdalena, Tolima y Valle etc.

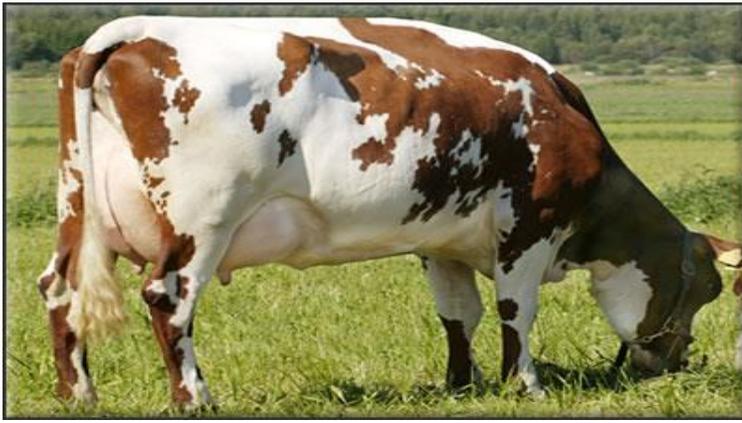
Figura 12 Ejemplar Pardo Suizo



Ayrshire: esta raza se caracteriza por la cabeza los cuernos tienen forma de lira, el color de la raza va desde el rojo hasta el castaño oscuro con manchas blancas. Se

definen como animales de color blanco sólido con manchas castañas; sin embargo las manchas son de superficie reducida en comparación con la Holstein roja, no se aceptan animales con manchas de color negro. En Colombia se encuentra en: Antioquia, Boyacá, Cundinamarca especialmente.

Figura 13 Ejemplar Ayrshire



Guernsey: Buen productor de leche, en Colombia están distribuidos en: Antioquia, Boyacá y Cundinamarca principalmente.

Figura 14 Ejemplar Guernsey

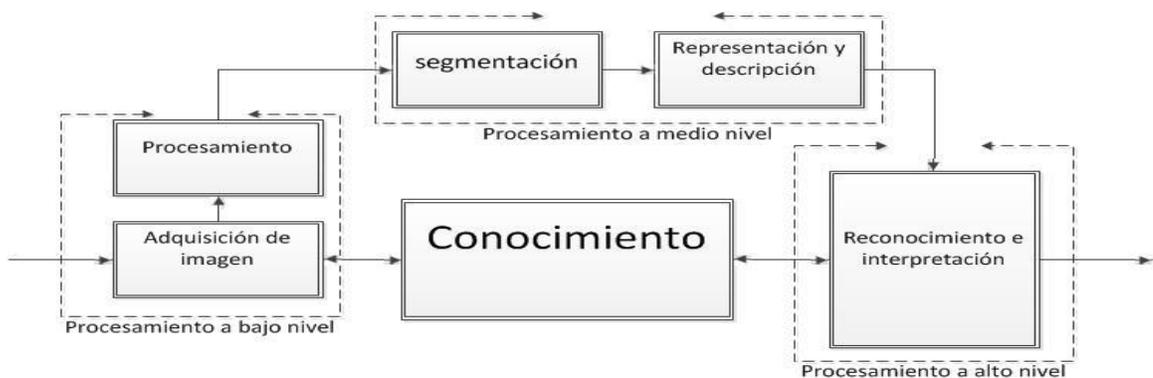


En relación con nuestro proyecto y siguiendo con los temas que los componen abordaremos la cámara.

Una cámara es un dispositivo que captura imágenes por medio de un sensor óptico (CCD) para transmitir o almacenar dichas imágenes de forma digital o análoga en nuestro cuadricóptero está ubicada en la parte frontal y servirá para obtener las imágenes para realizar el tratamiento de las mismas. En otras palabras, una cámara de vídeo es un transductor óptico.

La visión artificial es una rama de la inteligencia artificial la cual analiza las imágenes digitales captadas por un sistema óptico buscando información relevante para una tarea o la interpretación automática de la imagen, reúne desde los procesos y técnicas empleadas para la captura de la imagen (procesamiento de imágenes a bajo nivel), pasando por la segmentación y descripción (procesamiento de imágenes a nivel medio) hasta la identificación de características relevantes y reconocimiento de patrones (procesamiento de imágenes a alto nivel).

**Figura 15 Niveles de procesamiento de imágenes**



Una imagen es una representación visual de un objeto iluminado por una fuente de luz ya sea natural o artificial, realmente lo que se puede apreciar en el día a día proviene de la cantidad de luz que un objeto refleja. Una imagen representada como una función  $f(x,y)^2$  está compuesta de dos elementos: el primero la cantidad de luz incidente que proviene del escenario observado y la cantidad de luz que es reflejada por los objetos; estos dos conceptos son llamados iluminación y reflectancia (González Marco, Martínez de Pinsón Ascacibar, Pernía Espinoza, & Alba Elías, 2006).

Si nombramos a la iluminación  $i(x,y)$  y la reflectancia como  $r(x,y)$  el producto de ellas da como resultado  $f(x,y)$ .

En el proceso de formación de la imagen intervienen: el objeto, la fuente luminosa y el sistema de construcción, la imagen es pues convertida en una matriz  $f$  cuyos componentes representan secciones de la imagen muestreada según la resolución combinada del sensor óptico y el elemento digitalizador, estos componentes individuales son llamados pixeles, la forma de esta matriz  $f$  es la siguiente:

Figura 16 Forma de la matriz  $f$

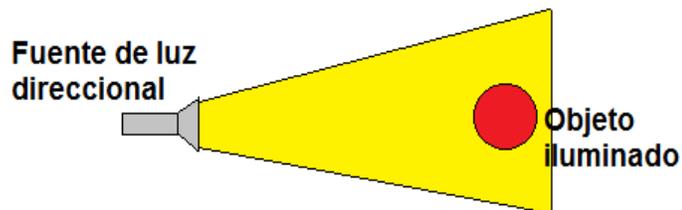
$$f = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \cdots & f(1,M) \\ f(2,1) & f(2,2) & \cdots & f(2,M) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f(N,1) & f(N,2) & \cdots & f(N,M) \end{bmatrix}$$

Cabe anotar que como se dijo antes cada elemento es un pixel que representa la intensidad de luz en ese punto específico de la imagen.

La iluminación y la óptica son dos aspectos indispensables en los sistemas de visión artificial inicialmente abordaremos las técnicas de iluminación y posteriormente todo lo relacionado con la óptica.

La iluminación direccional consiste en iluminar al objetivo con un haz altamente direccionado o colimado, esta técnica es utilizada principalmente en sistemas de inspección de calidad y seguimiento de piezas.

Figura 17 Ejemplo de iluminación direccional



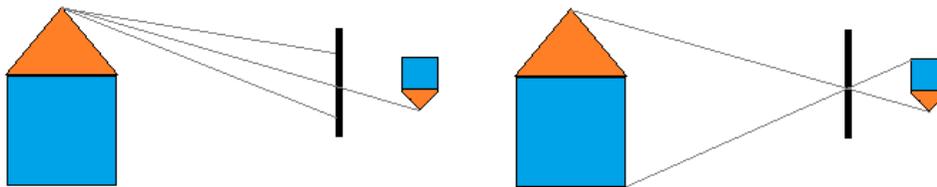
La iluminación estructurada se implementa proyectando un patrón sobre el objeto a iluminar como líneas o rejillas y dependiendo de las distorsiones en estos patrones se pueden identificar más fácilmente los objetos y sus características de forma.

La óptica se refiere al elemento que concentra la luz de la escena que se quiere captar sobre el sensor (lente).

La gran mayoría de las cámaras actuales descienden y utilizan los principios de la cámara oscura desarrollada por Cardan en 1550, en la cual se emplea un cubículo cerrado con un orificio en la parte frontal el cual deja pasar los rayos de luz que son proyectados sobre una superficie fotosensible generando una imagen invertida del escenario.

En la mayoría de los casos la intensidad de los haces de luz no son suficientes para que el elemento fotosensible fije la imagen, para solucionar esto se amplía el orificio pero esto causa que la imagen sea borrosa debido a la difusión de la luz. Al presentarse esto se implementó un lente en el orificio de entrada para concentrar los Haces de luz enfocando la imagen.

Figura 18 Fundamentos de la cámara oscura



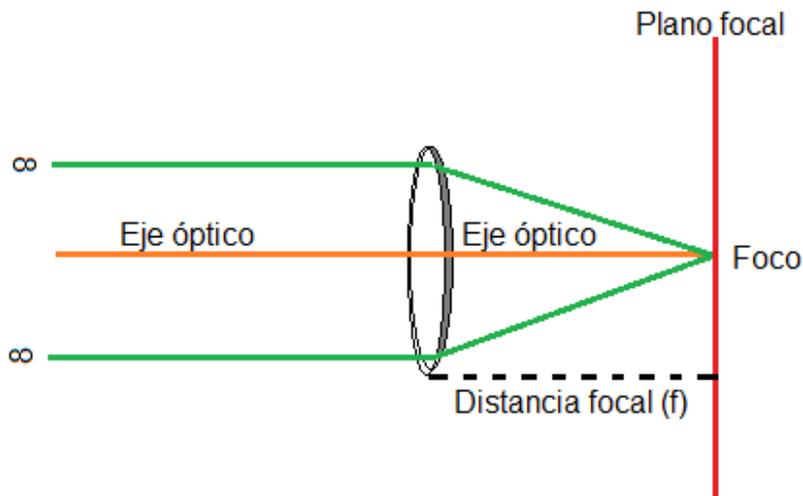
Un lente simple es un elemento translucido que por su parte anterior es curvo y por la otra puede serlo o no, teniendo en cuenta que si posee una curvatura en su parte posterior el centro de esta debe coincidir con el centro de la curvatura de la cara frontal.

Existen dos casos básicos de lentes el primero es divergente o negativo y el segundo convergentes o positivos, este último hace converger en un solo punto los rayos divergentes provenientes del objeto observado, mejorando la intensidad de luz y enfocando la imagen. Los lentes negativos hacen lo contrario desenfocando la imagen, para que la imagen pueda ser nítida el sensor óptico debe estar situado en el plano de convergencia establecido según las características de curvatura del lente.

Distancia focal, el procedimiento mediante el cual se ajusta la distancia entre el lente y el plano del sensor con el fin de obtener una imagen nítida fijando el punto

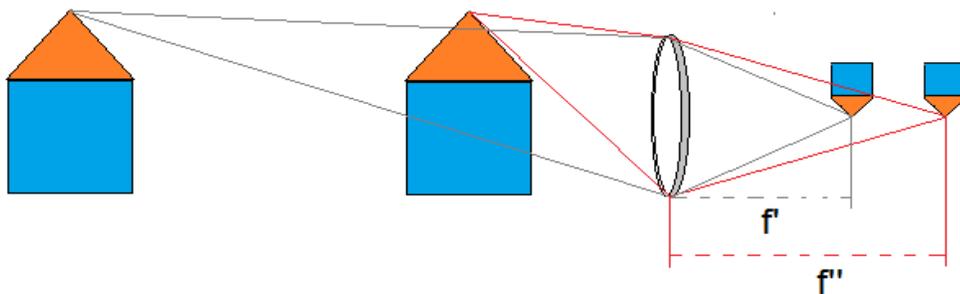
de convergencia de los rayos de luz de la imagen se denomina enfoque y la distancia resultante  $f$  entre el lente y el plano del sensor se denomina distancia focal.

Figura 19 Distancia focal



Se debe tener en cuenta que la distancia del lente al objeto que se quiere fijar influye en la distancia focal de modo que si el objeto está cerca del lente la distancia focal aumenta y si el objeto está lejos la distancia focal disminuye.

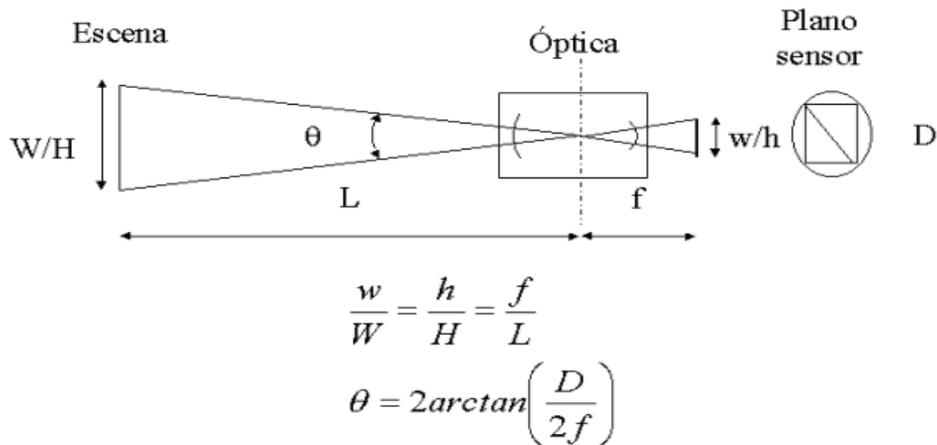
Figura 20 Influencia de la distancia de los objetos en la distancia focal



El ángulo de visión es la proporción que determina la extensión del escenario que un sensor óptico en conjunto con un lente puede cubrir, y generalmente está compuesto por una medida vertical, una horizontal y una trasversal.

El ángulo de visión se obtiene del ángulo que forman dos rayos que inciden sobre los bordes externos de la zona sensible de la imagen, cuando la imagen se encuentra enfocada a una distancia infinita.

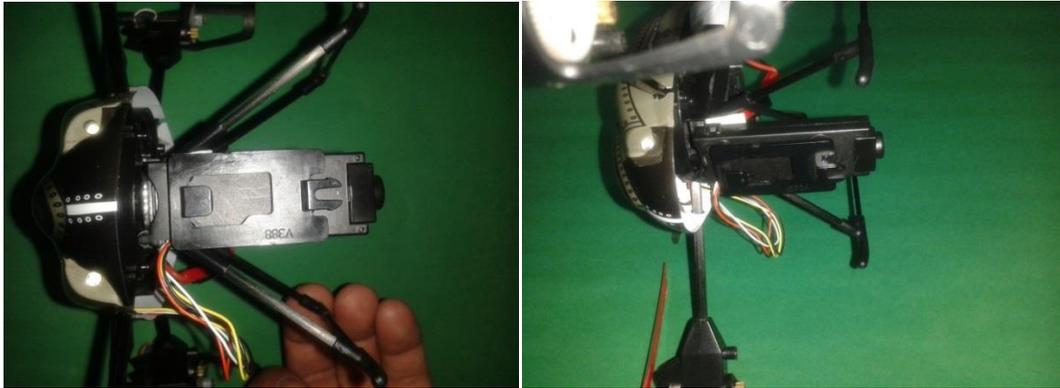
Figura 21 Ángulo de visión



Las cámaras digitales, incluyendo las VGA, almacenan sus imágenes directamente dentro de la memoria de la cámara o en una tarjeta de memoria. Las imágenes pueden luego ser transferidas a una computadora para ser impresas o a una pantalla de TV para su vista pública utilizando Internet inalámbrico, Bluetooth o un cable USB.

En nuestro dispositivo la cámara está ubicada en la parte delantera posicionada de forma tal que genere un ángulo recto (90°) con respecto a la superficie terrestre.

Figura 22 Posición de la cámara en el cuadricóptero



El procesamiento digital de imágenes es un campo de investigación abierto. El constante progreso en esta área no ha sido por sí mismo, sino en conjunto con otras áreas con las cuales está relacionada como las matemáticas y la computación, el avance del Procesamiento Digital de Imágenes se ve reflejado en la medicina, la astronomía, geología, microscopía, etc. Información meteorológica, transmisión y despliegue agilizado de imágenes por Internet tienen sustento gracias a estos avances.

El término "imagen monocromática" o imagen simplemente, se refiere a una función de intensidad de luz bidimensional  $f(x, y)$ , donde  $x$  e  $y$  indican las coordenadas espaciales y el valor de  $f$  en cualquier punto  $(x, y)$  es proporcional a la luminosidad (o nivel de gris) de la imagen en dicho punto.

Una imagen digital es una imagen (función)  $f(x, y)$  que ha sido discretizada tanto en coordenadas espaciales como en luminosidad. Una imagen digital puede ser considerada como una matriz cuyos índices de renglón y columna identifican un punto (un lugar en el espacio bidimensional) en la imagen y el correspondiente valor de elemento de matriz identifica el nivel de gris en aquel punto.

Los elementos de estos arreglos digitales son llamados elementos de imagen o píxeles, en el tratamiento de imágenes se pueden distinguir tres etapas principales: Adquisición de la imagen, procesamiento de la imagen, presentación al observador.

Figura. 23 Etapas del tratamiento de imágenes

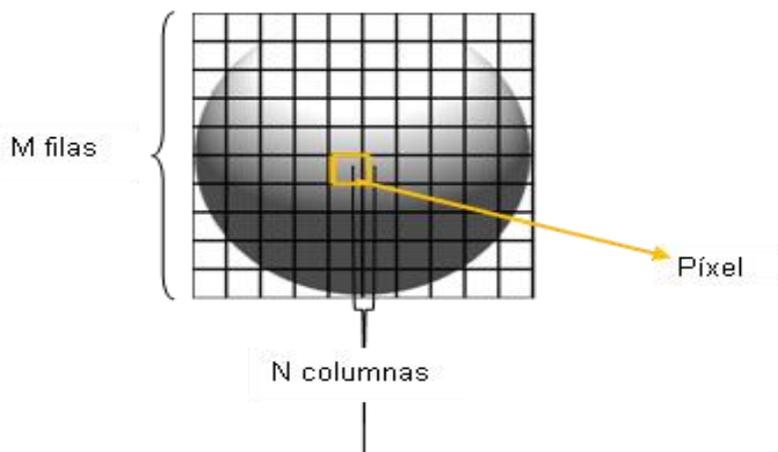


La adquisición de la imagen está a cargo de algún transductor o conjunto de transductores que mediante la manipulación de la luz o de alguna otra forma de radiación que es emitida o reflejada por los cuerpos, se logra formar una representación del objeto dando lugar a la imagen. Ejemplos: el ojo humano, sensores de una cámara fotográfica o de vídeo, tomógrafos.

El procesamiento digital de la imagen consiste en eliminar la mayor cantidad de ruido que se le agrega durante la adquisición así como también mejorar las características de dicha imagen como: definición de contornos, color, brillo, etc., valiéndose de procedimientos y herramientas matemáticas. En esta etapa se encuentran también técnicas de codificación para el almacenamiento o bien para la transmisión.

Un píxel es la menor unidad en color que forma parte de una imagen digital, ya sea una fotografía, un fotograma de video o un gráfico. El píxel es la abreviatura de Picture Element, y se puede observar al ampliar una imagen digital. Los píxeles aparecen como pequeños cuadrados o rectángulo en color, en blanco y negro o en matices de gris.

Figura 24 Representación de un píxel



Resulta que el píxel es sólo una unidad de división sin un tamaño real concreto; ya que el tamaño que adopte dependerá de la resolución que asignemos a una imagen. De ese modo, cuando decimos que una imagen tiene 200x100 píxeles, sabemos que la imagen está dividida en 20.000 pequeñas celdas -píxeles-, pero desconocemos su tamaño físico real. Distinto es si asignamos una resolución: al decir que una imagen tiene 100 píxeles por pulgada, sabemos que cada píxel equivale a 2,54 mm, ya que cada 2,54 cm tamaño de una pulgada- hay 100 celdas.

La presentación al observador consiste en el método empleado para exponer la imagen la cual puede ser impresa o por medios electrónicos como la televisión, el monitor de una computadora, o algún otro medio. Para la presentación de la

imagen se deben considerar ciertos aspectos de percepción humana así como las velocidades de despliegue del dispositivo utilizado, algunos de los problemas característicos en el diseño de estos subsistemas que involucran el uso de representaciones de señales son las siguientes:

Los dispositivos sensoriales realizan un número limitado de mediciones sobre las señales de entrada; estas mediciones deben ser adecuadas para obtener aproximaciones útiles, decidir que mediciones realizar y cómo usarlas de tal manera que aproximen mejor a la señales de entrada son los problemas que deben ser resueltos.

Para la selección del procesamiento y/o codificación que se hará sobre una señal, es necesaria una interpretación de las componentes de la señal, el modelo del sistema de visión humano puede ser utilizado en ciertas etapas de procesamiento para dicha interpretación.

El tratamiento de imágenes a bajo nivel es un conjunto de técnicas de pre-procesamiento cuyo objetivo es la extracción de descripciones de la imagen, a menudo también con imágenes. Pueden ser vistas como procesos automáticos, ya que no requieren ninguna capacidad inteligente por parte del sistema, en el sentido de que no se necesita conocer nada de los objetos presente en la escena o la posición relativa del observador

Las técnicas de procesamiento son tratadas como sistemas lineales invariantes a desplazamientos, calculados como convulsiones discretas que son aplicadas por igual a todos los puntos de una imagen.

El tratamiento digital de imágenes a medio nivel es un proceso que está relacionado principalmente con la extracción de descripciones, a partir de las

obtenidas por el bajo nivel. Estas descripciones se encuentran en un formato más simbólico y normalmente definen la forma y posición de determinadas porciones de la escena.

El problema fundamental es la distinción entre el fondo y la forma. Al igual que en el bajo nivel, el proceso no necesita ningún conocimiento específico sobre los objetos presentes en la escena, pero sí de los tipos de formas que pueden aparecer.

Dentro de las técnicas de medio nivel encontramos las de segmentación, de las cuales existe una gran variedad (segmentación por colores, bordes, textura, movimiento).

La umbralización es uno de los más importantes métodos de segmentación. El objetivo es convertir una imagen en escala de grises a una nueva con sólo dos niveles, de manera que los objetos queden separados del fondo.

El histograma de la Figura corresponde a una imagen compuesta de objetos claros sobre un fondo oscuro (Figura. 25).

Figura 25 Objetos claros sobre fondo oscuro

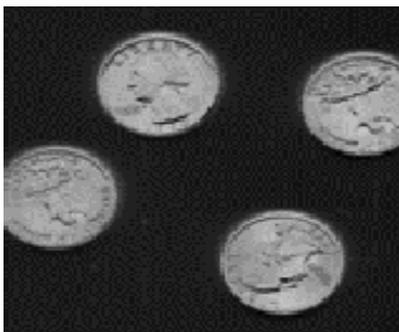


Figura 26 Histograma de la imagen

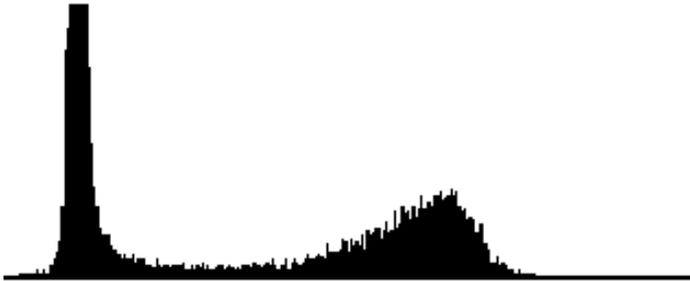
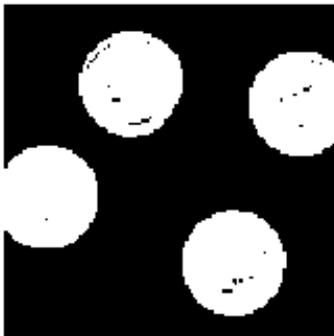


Figura 27 Umbralizada con un umbral de 76



Así, en la Figura se pueden ver varios ejemplos de imágenes umbralizadas con distintos valores.

Figura 28 Lenna a 256 niveles de gris



Figura 29 Lenna con un umbral bajo



Figura 30 Lenna con un umbral intermedio



Figura 31 Lenna con un umbral alto



La binarización es una técnica del procesamiento de imágenes que consiste en un proceso de reducción de la información de una imagen digital a dos valores: 0 (negro) y 255 (blanco).

Esta técnica consiste en comparar cada píxel de la imagen con un determinado umbral (valor límite que determina si un píxel será de color blanco o negro). Los valores de la imagen que sean mayores que el umbral toman un valor 255 (blanco), el resto de píxeles toman valor 0(negro).

La segmentación consiste en la división o partición de la imagen en varias zonas o regiones homogéneas y disjuntas a partir de su contorno, su conectividad, o en términos de un conjunto de características de los píxeles de la imagen que permitan discriminar unas regiones de otras. Los tonos de gris, la textura, los momentos, la magnitud del gradiente, la dirección de los bordes, las modas de los tonos de gris en ventanas 3x3, 7x7 y 15x15, etc., son características a utilizar para la segmentación.

La operación de segmentación trata de distinguir si un píxel pertenece, o no, a un objeto de interés y, por lo tanto, produce una imagen binaria. Todavía no hay una teoría unificada de la segmentación de imágenes, solamente disponemos de un conjunto de algoritmos.

Los algoritmos de segmentación de imágenes monocromáticas se basan en alguna de las tres propiedades siguientes:

- a) Discontinuidad en los tonos de gris de los píxeles de un entorno, que permite detectar puntos aislados, líneas y aristas (bordes).
- b) Similitud en los tonos de gris de los píxeles de un entorno, que permite construir regiones por división y fusión, por crecimiento o por umbralización.
- c) Conectividad de los píxeles desempeña un papel importante en la segmentación de imágenes.

Recordemos que una región  $D$  se dice conexa o conectada si para cada par de píxeles de la región existe un camino formado por píxeles de  $D$  que los conecta. Un camino de píxeles es una secuencia de píxeles adyacentes (que pertenecen a su entorno inmediato).

Los métodos de segmentación se pueden agrupar en cuatro clases diferentes:

a) Métodos basados en píxeles, que a su vez pueden ser: locales (basadas en las propiedades de los píxeles y su entorno) y globales (basadas en la información global obtenida, por ejemplo, con el histograma de la imagen).

b) Métodos basados en bordes.

c) Métodos basados en regiones, que utilizan las nociones de homogeneidad y proximidad geométrica, como las técnicas de crecimiento, fusión o división.

d) Métodos basados en modelos. Antes de pasar a estudiar cada uno de estos modelos vamos a ver técnicas para la detección de puntos, rectas, bordes y contornos, como herramientas previas.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE PROYECTO

Aplicando los conocimientos y experiencias realizadas en los laboratorios y finalizando así con la elaboración de un código en Matlab para el tratamiento de imágenes.

### 5.2 MÉTODO

Se implementara método científico basado en la experimentación y observación, recopilación de datos en la clasificación de especies animales mediante un dispositivo aéreo no tripulado

### 5.3 POBLACIÓN

Va dirigida a todos los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

### 5.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

**5.4.1 Fuentes primarias:** vimos la necesidad de hacer este proyecto ya que será una herramienta didáctica para el aprendizaje de nuevos y antiguos estudiantes, en la implementación de conocimientos adquiridos en clase y en este será plasmado, además de fomentar el gusto por la investigación como método de autoaprendizaje.

**5.4.2 Fuentes secundarias:** para complementar la investigación se utilizaron libros y artículos de internet.

## 6 RESULTADO DEL PROYECTO

Se pudo establecer que las razas bovinas como la Holstein, la Jersey, la Pardo Suizo y la Guernsey son susceptibles a ser identificadas con este sistema, obteniendo un 50% de identificación en la raza Holstein, un 75% con el Pardo Suizo y un 100% con las razas Guernsey y Jersey. De igual forma se debe tener en cuenta las limitaciones del sistema pues al basarse en un algoritmo de bajo nivel este comete errores de identificación cuando la vegetación u otro elemento en el ambiente tienen la misma forma o tamaño de los bovinos a identificar.

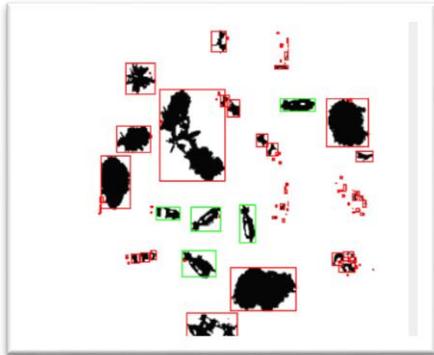
Figura 32 Proceso de tratamiento de imágenes en el laboratorio



Figura 33 Imagen binalizada



Figura 34 Identificación de bovino



Resultado de la implementación del algoritmo de tratamiento digital de imágenes. Imagen original del ambiente de pruebas, imagen donde se presenta en escala de grises, imagen binalizada, imagen donde se presentan los bovinos en recuadros verdes y los objetos no deseados en cuadros rojos.

La parte mecánica de un cuadricóptero consta de un bastidor y cuatro hélices dobles: Las hélices constituyen los elementos móviles de la aeronave, las mismas que están estandarizadas; teniendo en cuenta ciertos parámetros: Diámetro, Paso. Estos parámetros ya están dados y analizados por la empresa constructora, los cuales aseguran una autonomía y buena capacidad de vuelo.

Figura 35 Cuadricóptero con el cual se desarrolla el proyecto



Cada parte en el diseño de un cuadricóptero trabaja en conjunto. El bastidor es la unión de todas estas partes, se puede diseñar de muchas maneras y con muchos tipos diferentes de materiales, un diseño más eficiente conlleva un bastidor más rígido, ligero y que permita reducir al mínimo las vibraciones introducidas por los motores, la parte central donde se encuentran montados los sensores del sistema y la placa electrónica de control, cuatro brazos montados en la parte central.

La longitud del brazo varía mucho de acuerdo al diseñador, en la terminología de cuadricópteros se utiliza la abreviatura de distancia de motor a motor, es decir, es la distancia del centro de un motor al centro de otro motor del mismo brazo (o en la misma dirección).

La distancia de motor a motor se encuentra relacionada con el diámetro de la hélice, ya que se debe dejar espacio suficiente entre las hélices, habitualmente los cuadricópteros con hélices EPP1045, que significa un diámetro de hélice de 10 cm, tiene una distancia del motor a motor de alrededor de 24 cm, sin embargo es posible que ésta sea menor.

Figura 36 Parte frontal del cuadricóptero



Entre los dispositivos y sensores electrónicos que sirven para controlar la aeronave están: Motores para las 4 hélices, giroscopio electrónico, acelerómetro, micro controlador, módulos de comunicación inalámbrica, baterías.

El sistema será controlado mediante una comunicación inalámbrica realizada entre el cuadricóptero y un operador en tierra.

La aeronave posee tres ángulos de orientación los cuales son: Roll (Permite realizar los movimientos a la izquierda o derecha), Pitch (Es el movimiento que permite el desplazamiento hacia adelante y atrás)

y Yaw (movimiento cuando el vehículo gira sobre su eje vertical) ángulos que son necesarios para realizar el control de los cambios de velocidad de un motor. Consta de al menos dos sensores: un acelerómetro de 3-ejes y un giroscopio de 3-ejes. Algunas ocasiones incluye un magnetómetro de 3-ejes que ayuda a mejorar la estabilidad de Yaw.

Con lecturas tanto del acelerómetro como del giroscopio, se puede distinguir entre el movimiento/vibración arriba, abajo, izquierda o derecha o rotación.

Todo este sistema estará alimentado mediante baterías las cuales se encargan de dar la autonomía eléctrica al cuadricóptero; éstas son escogidas de acuerdo a los rangos de tensión y corriente que necesitan los dispositivos electrónicos de la aeronave.

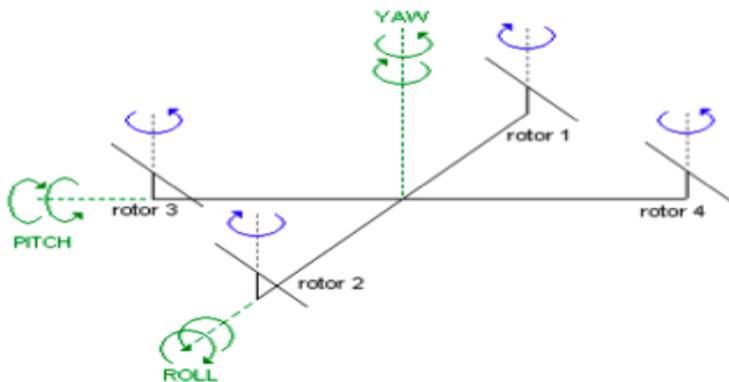
Figura 37 Sistema eléctrico/electrónico



Para controlar el cuadricóptero es necesario generar cambios en la potencia entregada a cada motor,

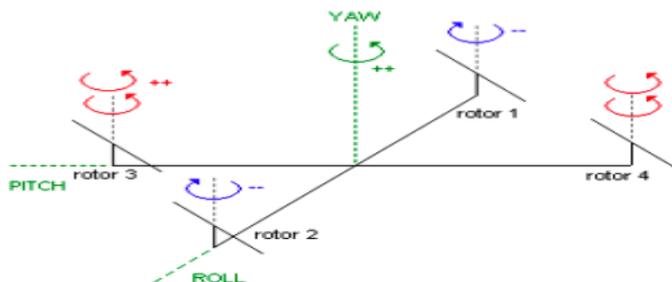
para el siguiente análisis se asume que la plataforma está volando estable con una potencia de motores PWM (en los cuatro motores), como todo vehículo volador tiene 3 grados de libertad angulares, estos son roll, pitch y yaw.

Figura 38 Grados de libertad de un cuadricóptero



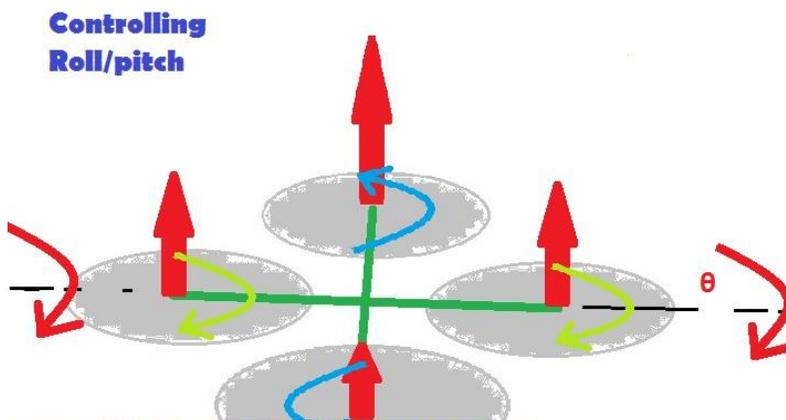
Movimiento de guiñada (yaw): Se refiere al movimiento cuando el vehículo gira sobre su eje vertical, el cuadricóptero logra este movimiento al aumentar por igual la potencia de giro de los rotores 1 y 3 y disminuir en igual magnitud los motores 2 y 4, al disminuir esta potencia aumenta el par del motor creando un giro contrario a las hélices que están rotando con mayor potencia.

Figura 39 Movimiento Yaw



Movimiento de inclinación (pitch): Es el movimiento que permite el desplazamiento hacia adelante y atrás, el vehículo mantiene la potencia en el rotor 1 que es opuesto al sentido deseado, reduce al mínimo la del rotor 3 y deja los otros dos a potencia media, así la sustentación del rotor 1 hace que el vehículo se incline a favor del sentido deseado y se desplace.

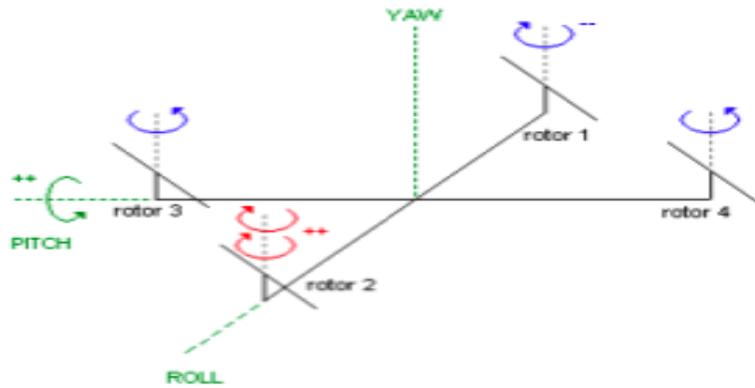
Figura 40 Movimiento Pitch



El movimiento de bamboleo (roll): Permite realizar los movimientos a la izquierda o derecha, usa el mismo principio que el de inclinación, pero lateralmente, la combinación de los tres movimientos mencionados son los que hacen maniobrar al cuadricóptero libremente.

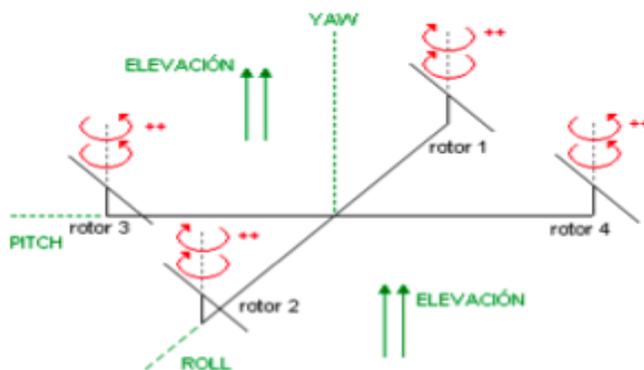
Los movimientos de roll y pitch son giros en torno a los ejes horizontales del cuadricóptero, una inclinación en cualquiera de estos ejes produce un movimiento lineal en el plano horizontal cuya velocidad depende del ángulo (esto se denomina ángulo de ataque) y la dirección depende de la orientación del cuadricóptero.

Figura 41 Movimiento Roll



Movimiento Vertical: Se puede hacer ascender, descender o mantener en vuelo estacionario al cuadricóptero, haciendo que la fuerza de sustentación generada por los 4 pares motores-hélices sea mayor que la fuerza peso generada por la atracción gravitatoria, este movimiento se logra al variar la potencia de los cuatro motores en igual medida para no modificar los demás grados de libertad, de esta forma la plataforma puede ascender o descender.

Figura 42 Movimiento vertical

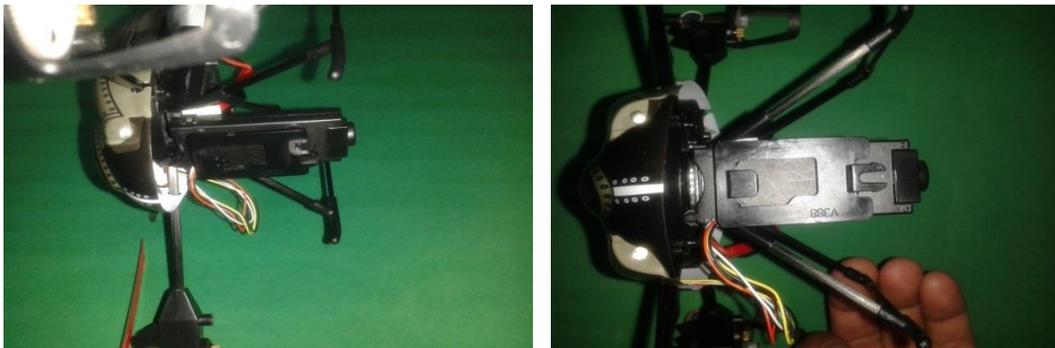


En el desarrollo de este proyecto se pueden encontrar dos sistemas de visión: el primero implementado en el robot como herramienta de navegación y el segundo en la parte superior del escenario de pruebas, el cual se implementó para el seguimiento del robot a través de este ambiente.

En el caso de los sistemas de visión en robots móviles puede decirse esencialmente que son de dos tipos: binoculares y monoculares; en este caso se decidió implementar este último teniendo en cuenta su simplicidad en la implementación y la compatibilidad del mismo con los software de RA.

La cámara del robot se posicionó en su parte frontal como se aprecia las siguientes figuras.

Figura 43 Ubicación de la cámara en el cuadricóptero



Esta posición permitió la obtención de dos parámetros claves del sistema de visión como son el ángulo de apertura del lente de la cámara ( $45^\circ$ ) y la distancia mínima de visión (20 cm). Esto es el primer paso en la obtención del volumen de visión lo cual es fundamental para comprender como la cámara capta el mundo exterior y permite fijar los límites preliminares del sistema de realidad aumentada dejando claridad sobre la ubicación de los marcadores de RA.

Para obtener este volumen se realizaron 4 medidas del marco de visión en intervalos de 20 cm a partir de la parte delantera del cuadricóptero.

Figura 44 Distancia 20 cm

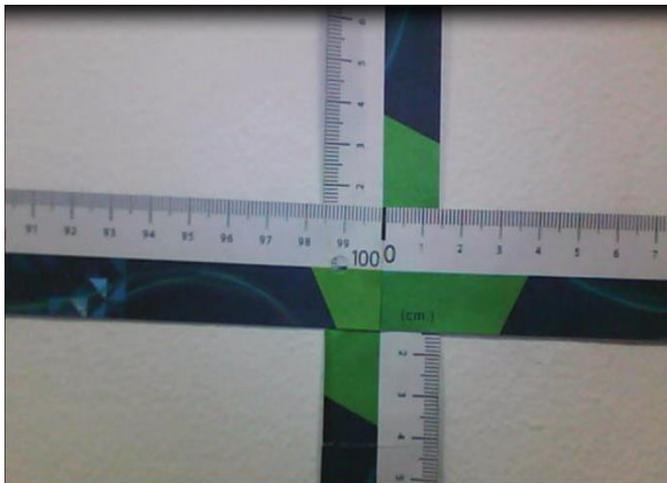


Figura 45 Distancia 40 cm

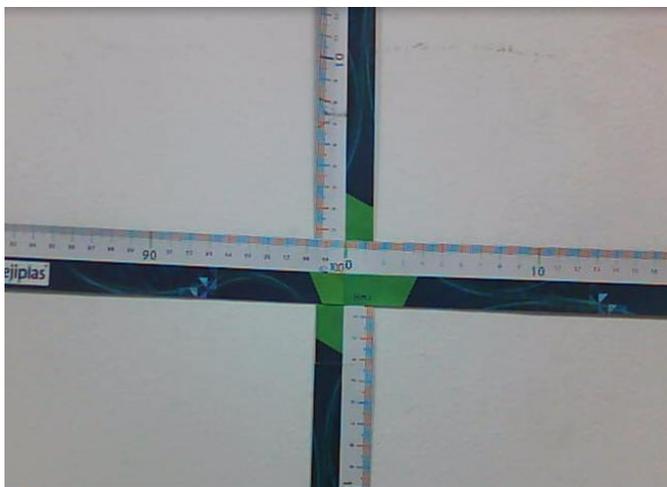


Figura 46 Distancia 60 cm



Figura 47 Distancia 80 cm



Las mediciones se obtuvieron utilizando un patrón métrico dispuesto de forma paralela a la parte delantera del cuadricóptero para apreciar la extensión de la componente en el eje “x” del cuadro de visión; para el eje “y” se presentó un patrón métrico de forma perpendicular al patrón anterior para poder medir la magnitud de la ventana de visión con respecto a este eje, para todos los planos de visión se siguió el mismo procedimiento.

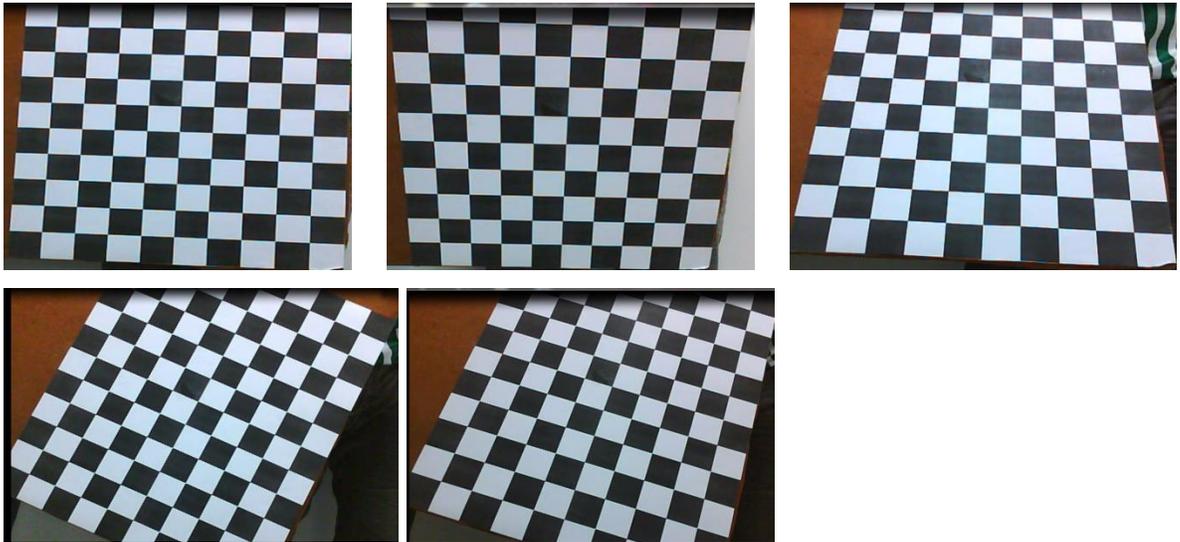
Después de realizarse una calibración experimental se realizó una calibración basada en principios físicos y ópticos, esto se realizó con el fin de establecer los parámetros intrínsecos de la cámara y establecer sus comportamientos ópticos.

Esto se llevó a cabo con la ayuda del toolbox del software Matlab diseñado para ello; emplea una serie de imágenes captadas con la cámara en las cuales se aprecia un patrón monocromático bidimensional visto desde diferentes ángulos para estimar los parámetros intrínsecos de la cámara el montaje para obtener dichas imágenes se puede apreciar a continuación.

Figura 48 Montaje para la obtención de las imágenes de calibración

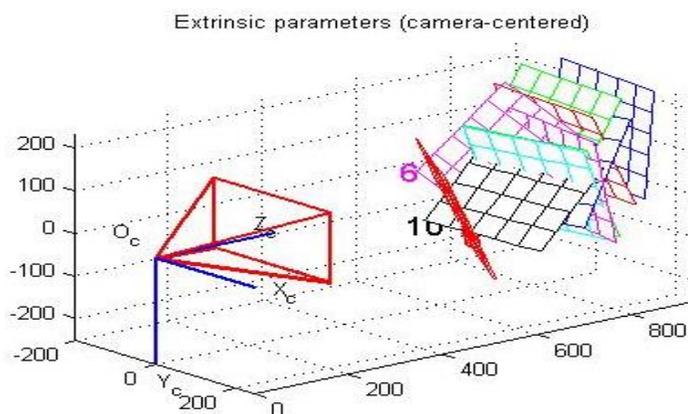


Figura 49 Imágenes de calibración de la cámara



El software realizó una reproyección de las figuras para obtener los parámetros extrínsecos, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 50 Parámetros extrínsecos de la cámara

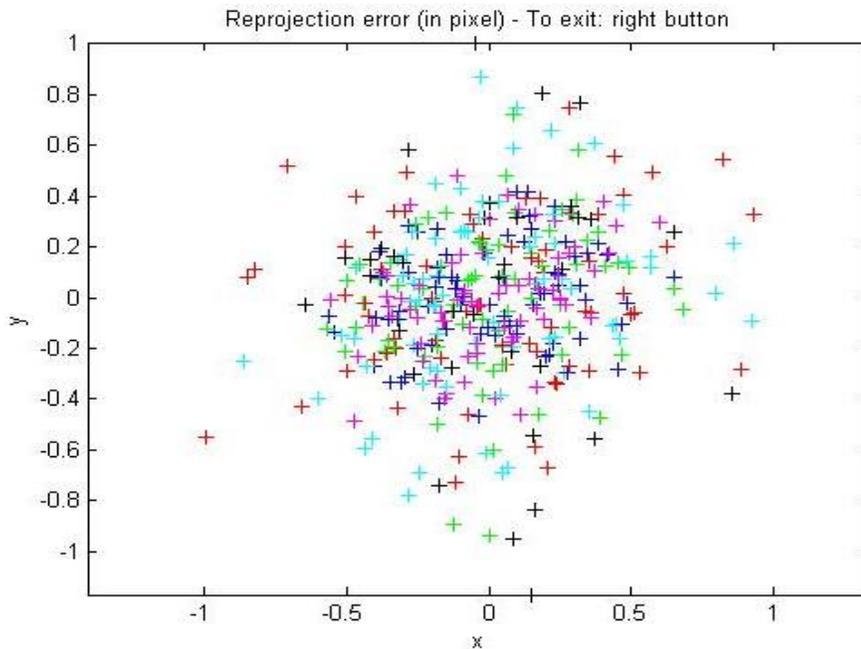


Aplicando el Toolbox de Matlab a los dos conjuntos de imágenes se obtiene lo siguiente.

Tabla 1 Modelo matemático de la cámara

<b>Focal Length:</b>	$fc = [ 1162.92522 \quad 1173.34432 ] \pm [ 7.42097 \quad 7.80748 ]$
<b>Principal point:</b>	$cc = [ 701.44796 \quad 411.81764 ] \pm [ 7.85033 \quad 8.05320 ]$
<b>Skew:</b>	$\alpha_c = [ 0.00000 ] \pm [ 0.00000 ] \Rightarrow$ angle of pixel axes = $90.00000 \pm 0.00000$ degrees
<b>Distortion:</b>	$kc = [ 0.15177 \quad -0.62762 \quad 0.01138 \quad 0.00220 \quad 0.00000 ] \pm [ 0.02358 \quad 0.12247 \quad 0.00274 \quad 0.00318 \quad 0.00000 ]$
<b>Pixel error:</b>	$err = [ 0.32171 \quad 0.30881 ]$

Figura 51 Coordenada error imagen (-1;1) pixel



Teniendo los parámetros de las tablas anteriores se encontraron las matrices de los parámetros intrínsecos de la cámara (KK) sabiendo que:

$$\begin{bmatrix} Xp \\ Yp \\ 1 \end{bmatrix} = KK \begin{bmatrix} X_d(1) \\ X_d(2) \\ 1 \end{bmatrix} \quad KK = \begin{bmatrix} fc(1) & \mathbf{alpha\_c} * fc(1) & cc(1) \\ 0 & fc(2) & cc(2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tomando para el ejemplo los parámetros de la cámara la matriz KK obtenida sería:

$$KK = \begin{bmatrix} 2823.09391 & 0 & 975.84165 \\ 0 & 2822.27427 & 786.27499 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

La validación de dicha KK se puede realizar implementando una re proyección del mundo 2D de la cámara al mundo real en 3D sobre una imagen real.

Este proyecto además de beneficiar a la comunidad Pascual Bravo y al grupo de investigación GARPE, también beneficiará a la población campesina ganadera de nuestro país, ya que con este dispositivo nuestros ganaderos evitaran recorrer grandes distancias para la realización del conteo diario de sus ejemplares vacunos, y así servir como modelo para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos que permitan incentivar la utilización de dispositivos eléctricos y electrónicos, los cuales apunten al desarrollo social, personal y de seguridad en el sector agropecuario colombiano.

La actividad ganadera para el 2010 participó con cerca del 1,7% del PIB Nacional, con el 20% del PIB del subsector agropecuario y el 53% del PIB pecuario.

Le generó a la economía 950.000 empleos directos, es decir, el equivalente al 20% del empleo en el sector agropecuario y el 7% del total nacional. De esta forma, la ganadería es la actividad predominante de la producción pecuaria, por encima de la producción avícola, porcina o piscícola.

## 7 CONCLUSIONES

Es posible identificar bovinos de las razas Guernsey y Jersey empleando un Drone comercial y un algoritmo de visión artificial de bajo nivel obteniendo un 100% de efectividad.

Las razas en las cuales se obtuvieron mejores porcentajes de identificación son aquellas en las cuales su pelaje es de color oscuro y sin variaciones de tonalidad o manchas en la piel; no obstante las otras razas que presentan estas características son aptas para su identificación siempre y cuando sus manchas estén interconectadas en su lomo o que las variaciones de tonalidad no presenten un alto contraste.

Se debe mantener una altura constante en todas las imagen es fundamental para definir la escala de los bovinos y fija los límites de identificación de bovinos adecuados en términos de pixeles.

Mantener el Drone a una altura constante al momento de tomar todas las imágenes es fundamental para fijar el rango de tamaños en pixeles para los bovinos y obtener un alto porcentaje de identificaciones.

## **8 RECOMENDACIONES**

Se recomienda para trabajos futuros iniciar con pruebas de campo en exteriores.

Mejorar el algoritmo de tratamiento digital de imágenes con el fin de consolidar la utilización de esta tecnología en el agro colombiano.

## BIBLIOGRAFÍA

Real, C. N. (2009). *Control de un Quadrotor mediante la plataforma Arduino*. Escuela Politécnica de Cataluña.

Mateos, G. G. (n.d.). *Visión de alto nivel : Interpretación de dibujos de líneas mediante comparación de grafos* (1st ed., p. 72). Murcia.

## CIBERGRAFÍA

Cámara de vídeo - Wikipedia, la enciclopedia libre. (n.d.). Retrieved November 11, 2014, from [http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara\\_de\\_v%C3%ADdeo](http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_de_v%C3%ADdeo)

Lección 26. TIPOS DE EXPLOTACIÓN Y RAZAS LECHERAS BOVINAS. (n.d.). Retrieved November 11, 2014, from [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102702/102702/leccin\\_26\\_\\_tipos\\_de\\_explo\\_tacin\\_y\\_razas\\_lecheras\\_bovinas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102702/102702/leccin_26__tipos_de_explo_tacin_y_razas_lecheras_bovinas.html)

¿Qué es un pixel? - CanalTotal.com. (n.d.). Retrieved November 11, 2014, from <http://www.canaltotal.com/que-es-un-pixel/>

WLtoys V959 6-EJES Beetle RC Quadcopter Mini UFO RTF con luces y camara HD. (n.d.). Retrieved November 11, 2014, from <http://www.todomodel.es/cuadricopteros-rtf-listos-para-volar/1838-wltoys-v959-6-ejes-beetle-rc-quadcopter-mini-ufo-rtf-con-luces-y-camara-hd.html>

Superintendencia de Industria y Comercio. (2011). *Estudio sectorial carne bovina en Colombia (2009-2011)*. (Superintendencia de Industria y Comercio, Ed.) [sic.gov.co](http://www.sic.gov.co) (1st ed.). Santafe de Bogota. Retrieved from [http://www.sic.gov.co/drupal/masive/datos/estudios\\_economicos/Documentos elaborados por la Delegatura de Protecci%C3%B3n de la Competencia/2012/AS\\_2013.pdf](http://www.sic.gov.co/drupal/masive/datos/estudios_economicos/Documentos_elaborados_por_la_Delegatura_de_Protecci%C3%B3n_de_la_Competencia/2012/AS_2013.pdf)