



# Diseño y desarrollo de gimbal impreso en 3D para la adaptación de métodos de escaneo 3D sobre drones

Design and development of 3D printed gimbal for the adaptation of 3D scanning methods on drones



Pinto Guerrero Carlos Andrés<sup>1</sup>, Escobar Montero Flor Maria<sup>1</sup>,  
Campuzano Nieto Gonzalo Bayardo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Central de Ecuador

[carlosska-p@hotmail.com](mailto:carlosska-p@hotmail.com)

[fmescobar@uce.edu.ec](mailto:fmescobar@uce.edu.ec)

[gbcampuzano@uce.edu.ec](mailto:gbcampuzano@uce.edu.ec)



DOI: <https://doi.org/>

### **Resumen**

El presente documento trata sobre el diseño, desarrollo y análisis de un prototipo de un gimbal de 2 ejes, acoplado a un dron de tipo cuadricóptero. La estructura es fabricada por medio de impresión 3D y como controlador del circuito electrónico se utiliza Arduino. Se desarrolla el prototipo para estabilizar dos cámaras en conjunto con un módulo láser para el método de escaneo 3D por iluminación estructurada y un Smartphone para el método de fotogrametría. Se explica la obtención de los parámetros y todo el proceso de diseño realizado. El diseño del prototipo tiene como enfoque factores como optimización de pesos, geometría necesaria para obtener imágenes según el método de escaneo, resistencia del material, montaje del circuito electrónico, entre otros. Se analiza el comportamiento de las vibraciones que se reducen con el gimbal, nivel de la línea láser, y la obtención y comparación de imágenes.

Palabras Clave: gimbal, diseño, dimensiones

### **Abstract**

In this paper, we present the design, development, and analysis of a 2-axis gimbal prototype integrated with a quadcopter drone. The structure is 3D printed and an Arduino is used as the controller of the electronic the prototype is developed to stabilize two cameras in conjunction with a laser module using the structured illumination 3D scanning method and a Smartphone for the photogrammetry method. The obtaining of the required parameters and the whole design process are explained. The prototype design focuses on factors such as weight optimization, geometry required to obtain images according to the scanning method, material resistance, electronic circuit assembly, among others. The behavior of the vibrations that are reduced with the gimbal, laser line level], and the obtaining and comparison of images are analyzed.

Keywords: Gimbal, Design, Dimensions

## I. Introducción

El uso de drones para obtener imágenes que sirvan para la reconstrucción 3D de ciertas áreas o edificaciones es muy común en la actualidad. Existen varios métodos de escaneo 3D para los cuales se necesitan diferentes componentes y que estos se encuentren en la ubicación correcta para poder procesar las imágenes captadas.

El desarrollo de nuevas tecnologías tridimensionales y su constante aparición en portales de noticias, hicieron que se centrara el foco de atención en este tema. Las amplias posibilidades y múltiples aplicaciones que la visión tridimensional y análisis de imágenes ha traído, ha hecho que se convierta en una disciplina muy atractiva y difícil de ignorar (Tizne Mena, 2015)

La estabilidad de las cámaras para obtener información o emitir patrones de luz, es de suma importancia, ya que si las imágenes recibidas no son de alta calidad no se podrá hacer uso de ellas. Esta estabilidad depende de un gimbal, que es el dispositivo que soporta las cámaras y reduce las vibraciones que son emitidas por la aeronave. Los drones de uso comercial ya vienen incorporados estos dispositivos, pero no se pueden personalizar para el uso de diferentes métodos de escaneo 3D que requieren colocar diferentes cámaras en distintas posiciones y así generar la geometría correcta para obtener imágenes.

Estos componentes deben estar estables para tener un correcto desempeño. Un gimbal al cual se puedan adaptar diferentes componentes según el método de escaneo 3D, es esencial para estabilizar las imágenes obtenidas durante el vuelo de la aeronave.

Un gimbal es un dispositivo mecánico que permite la rotación de un objeto en múltiples dimensiones. Normalmente se compone de dos o tres pares de pivotes, montados en ejes a ángulos correctos. (Kuzey, 2007)

Según (Ferreño, 2017) el gimbal es en definitiva un estabilizador de cámaras u otros objetos. De manera que cuando el usuario esté grabando vídeos, las capturas sean óptimas. Así, se puede mover mientras graba sin temer a que las imágenes obtenidas no sean estables.

## 2. Metodología

Según (Norton, 2009) el diseño en ingeniería se ha definido como: “el proceso de aplicar diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permitan su realización. El diseño puede ser simple o complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático; puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia” (p 7).

### 2.1 Requisitos de diseño

El “frame” o chasis que se utiliza para la investigación es el modelo Tarot 650 que posee las características que se detallan en la tabla 1. El Tarot 650 es un tipo de chasis comercial comúnmente utilizado para fotografía y uso recreativo, ya que proporciona una plataforma estable para fotografía aérea.

Tabla 1. Características de Aeronave

Aeronave	
Peso (incluida la batería)	2180 g
Max. Carga útil	1500g
Carga útil óptima	1130g
Velocidad angular	200 ° / s
Ángulo de inclinación máxima	35 °
Velocidad máxima de vuelo	15m / s
Altura máxima de vuelo A.G.L	122 m
Tiempo de vuelo	35 min
Radio control	
Frecuencia	2.4GHz
Temperatura de funcionamiento	-10.0 ° C - 50.0 ° C
Rango de voltaje de trabajo	7.2V - 22.2V
Amperaje de trabajo	40A nominal con 70A pico máximo
Batería	
Tipo de polímero	Litio
Peso	~ 1700 g
Amperaje Horas	12000 mAh
Voltaje	22.2V (6 celdas)

Para realizar el diseño del acople del gimbal es necesario contar con un recurso CAD del chasis al que se acoplara, con el fin de simular la ubicación, el espacio y las piezas que son necesarias para la estructura del estabilizador.

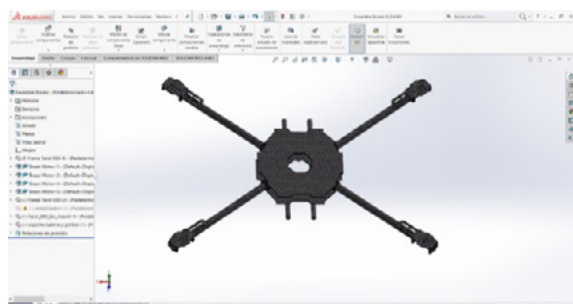


Figura 2. Geometría para iluminación estructurada

Para el método de iluminación estructurada se utiliza dos cámaras ubicadas en los extremos y un módulo láser ubicado en la mitad, el patrón láser que se emite es captado por ambas micro cámaras FPV que deben tener una distancia máxima de 20 cm y mínima de 15 cm con respecto una de otra y 9.5 cm con respecto al módulo láser.

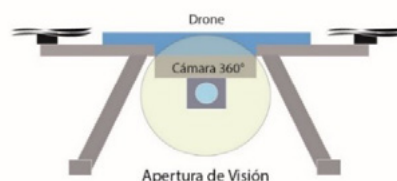


Figura 3. Localización de cámara para fotogrametría

## 2.2 Funcionamiento Electrónico de Gimbal

El IMU localizado paralelo al suelo en el chasis de la aeronave emite una señal con la información de su orientación y posición al controlador, este emite la información del movimiento que deben realizar los motores en cada eje para estabilizarse con referencia a la posición del IMU (Pinto, 2019). EL eje Pitch corrige su orientación con respecto al movimiento longitudinal del dron mientras que el eje Roll estabiliza el movimiento transversal. El funcionamiento electrónico del estabilizador de 2 ejes se muestra en el diagrama de la figura 4.

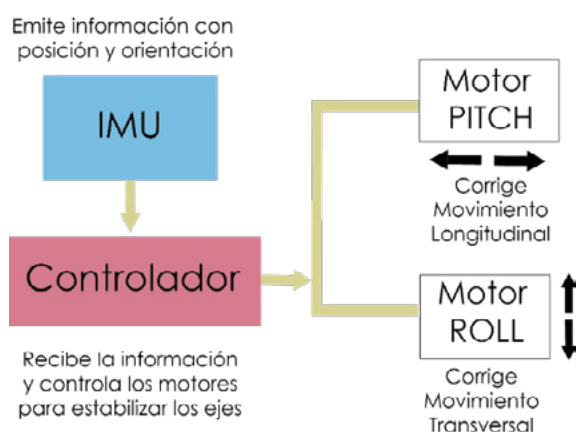


Figura 4. Diagrama de funcionamiento electrónico de gimbal

Los sensores giroscopio y acelerómetro son calibrados en los puntos 0 en cada eje. Ya que cada chip es único se corre un código o también conocido como “Sketch” en Arduino para registrar los valores iniciales y establecer los valores de referencia de cada sensor. En la figura se muestra el diagrama de conexión de los pines del MPU6050 con el Circuito Arduino Nano.

## 2.3 Diseño Conceptual

Desde el punto de vista metodológico, el diseño conceptual es un proceso creativo de resolución

de problemas, capacitado por el conocimiento humano, la creatividad y el razonamiento.

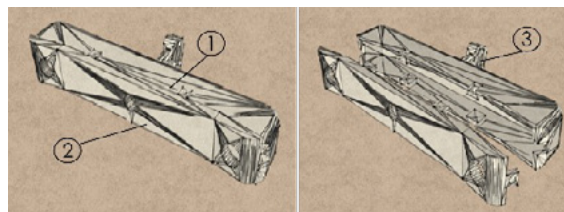


Figura 5. Bocetos de cabina para cámaras y láser

Al tener los conceptos seleccionados se procede a diseñar cada componente con las especificaciones y parámetros que son necesarios para su función. El diseño de detalle está relacionado con el diseño de sistemas o subsistemas, para el prototipo gimbal se definen dos sistemas: Sistema “Roll” y Sistema “Pitch” descritos en el funcionamiento electrónico.

En este punto se realizan las simulaciones de espacio y ubicación en la aeronave y el diseño de cada componente según su función y parámetros establecidos.

Con la ayuda del recurso 3D del chasis de la aeronave previamente desarrollado. Se puede realizar una simulación del montaje del prototipo en el dron. Lo cual sirve para verificar que la ubicación y distribución de peso este en el punto medio del chasis.

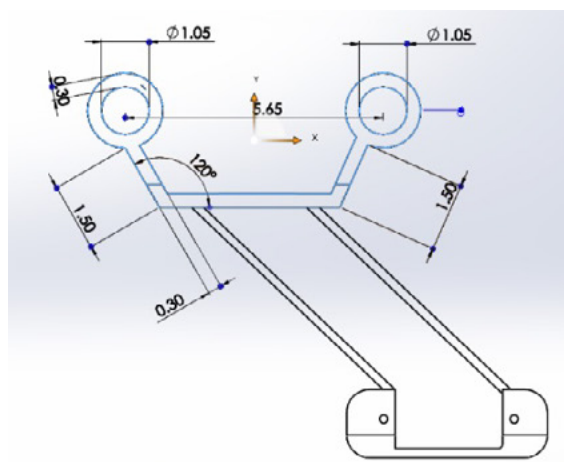


Figura 6. Diseño a detalle de adaptador en chasis

De igual manera se realiza una simulación del montaje del soporte de Smartphone, verificando que se encuentre en el centro del chasis de la aeronave, y que las distancias a las hélices y demás elementos del prototipo no interfiera en el desempeño de vuelo del dron, además que el cuadro de la cámara del dispositivo móvil no pueda registrar elementos de la aeronave en las imágenes obtenidas por este medio.



Figura 7. Simulación de sistema para iluminación estructurada



Figura 8. Simulación de sistema para fotogrametría

Según (Torres): “El desarrollo de un sistema CAD se basa en la representación computacional del modelo. Esto permite realizar automáticamente el dibujo de detalle y la documentación del diseño, y posibilita la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones sobre el modelo, como una alternativa a la construcción de prototipos. El ciclo de diseño utilizando un sistema CAD se ve afectado, tan solo, por la inclusión de una etapa de simulación entre la creación del modelo y la generación de bocetos”.

El CAD es una técnica de análisis, una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido. Los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño ( Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2006).

Para la fabricación de las piezas del prototipo las impresoras 3D que se utilizan son el modelo DIY 2018, estas impresoras son de tipo “Open Hardware”. Es una impresora 3D cartesiana capaz de construir en PLA con una resolución de 100  $\mu\text{m}$ , con cama caliente y una extrusora cuya temperatura puede llegar a los 210  $^{\circ}\text{C}$ .

La fabricación digital consiste en materializar objetos a partir de archivos digitales, utilizando para esto una máquina controlada por una computadora. Con este mecanismo se puede mejorar procesos de diseño, obtener piezas personalizadas o reducir costos de producción, hasta fabricar formas complejas. En la actualidad no existe una técnica única de impresión, así como tampoco un único tipo de insumo material (Bordignon, Iglesias, & Hahn, 2018).

Tabla 2. Parámetros para impresión 3D

Parámetro	Valor
Velocidad de impresión	60 mm/s
Velocidad de desplazamiento	80 mm/s
Temperatura de Extrusor	205 $^{\circ}\text{C}$
Temperatura de cama	50 $^{\circ}\text{C}$
Tipo de Relleno	Rectilíneo
Material de Filamento	PLA
Diámetro de Filamento	1.75 mm
Flujo	100%



Todos los componentes son impresos en el transcurso de una semana, dado sus características la impresión más larga dura 19 horas y las más corta 5 horas. Esto depende de cada componente. Una vez que las impresiones culminan, se verifican las dimensiones de cada pieza, y se realiza un post procesamiento de lijado para un acabado final.

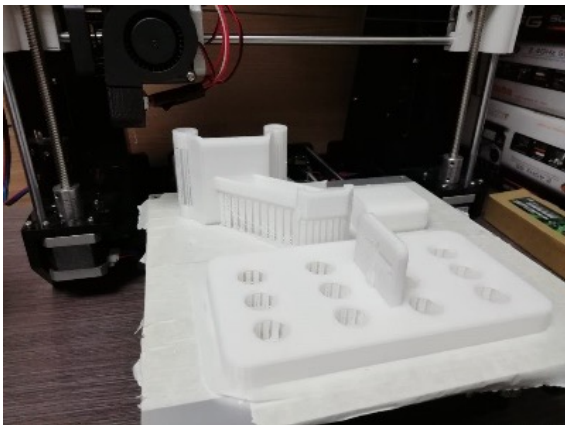
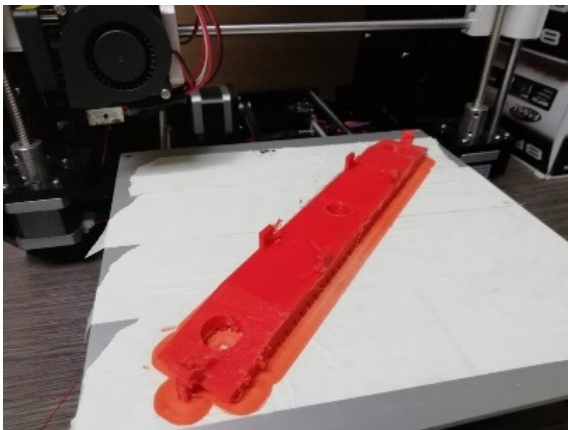


Figura 9. Impresión 3D finalizada de componentes

Se procede a instalar los componentes electrónicos en los componentes impresos, se realizan los ensambles y correcciones necesarias. Se instala los servomotores de cada eje en su respectiva estructura. Se acopla ambos ejes por medio de los engranajes en cruz y se construye la estructura final del estabilizador a la cual se acoplarán los dos soportes diseñados.

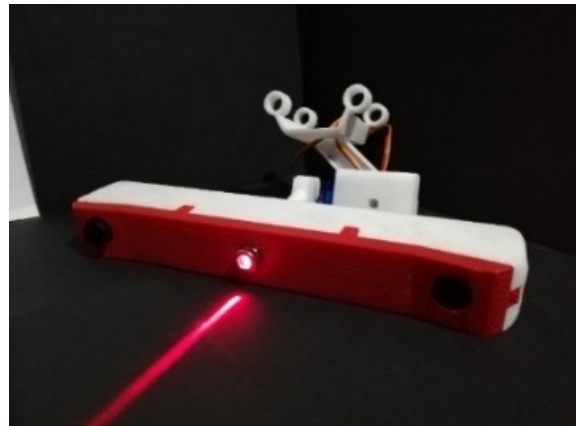


Figura 10. Montaje de componentes electrónicos en prototipo

Los pesos de cada componente cumplen con los parámetros establecidos y no supera los 500 gramos. El cumplimiento de este parámetro permite que se puedan montar los diferentes sistemas en la aeronave sin riesgo de perder autonomía de vuelo, y contribuyendo a un mejor desempeño del estabilizador.



Figura 11. Montaje de sistema en aeronave

Una vez montado y verificado cada ensamble de los componentes, se procede a realizar pruebas del prototipo, se somete a diferentes experimentos

### 3. Resultados

El prototipo de gimbal es montado sobre el dron y se ubica el soporte de Smartphone. Las Pruebas de vuelo son realizadas en el estadio de la UCE, campo seleccionado para mayor comodidad de pilotaje, ya que se puede recorrer un área sin obstáculos que pudiesen ocasionar problemas durante el vuelo.



Figura 12. Aeronave durante vuelo a altura 18 m

Las pruebas para analizar el desempeño del acople del gimbal a la aeronave se realizó en un rango de 5 a 45 metros de altura. Donde se analizó si factores como viento, velocidad o cambios de dirección ocasionan que el acople se fracture o se mueva de su posición en el dron.

Los datos como altura, velocidad y tiempo de vuelo son obtenidos del GPS del dron. La autonomía de vuelo de la aeronave es de 35 min.

Tabla 3. Resultados de pruebas de vuelo

Tiempo de vuelo	Altura	Velocidad	Presencia de Fracturas	
			Si	No
8 min	5 m	3.1 m/s		x
7 min	18 m	5.2 m/s		x
6 min	42 m	4.7 m/s		x

Se realizan 3 pruebas de vuelo a distinta altura y velocidad, en cierto tiempo se aterriza el dron y se comprueba visualmente que el acople del gimbal no presente fracturas.

#### 3.1 Mediciones de vibraciones

Según (White, 2010) “El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 tipos diferentes” (p. 16). Refiriéndose a las aceleraciones de las translaciones y rotaciones en los tres ejes. En las siguientes figuras se muestra graficas que comparan la relación aceleración ( $m/s^2$ ) – tiempo (s) de cada eje en ambos registros.

Se procede a realizar la medición de las vibraciones que genera el dron durante el vuelo. Para la toma de las medidas de las vibraciones se utiliza la aplicación móvil “Vibration Analysis” que utiliza el acelerómetro y giroscopio del Smartphone para obtener los datos de aceleración y orientación en los ejes x,y,z.

Se realizan dos registros de los datos de las vibraciones. El primer registro toma datos de las vibraciones generadas en el Smartphone con el gimbal desactivado.



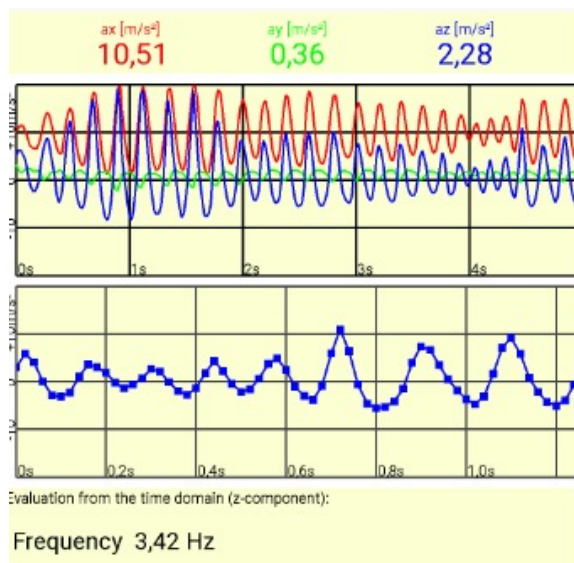


Figura 13. Datos registrados de aceleraciones con gimbal desactivado

En el segundo registro se recopila los datos de las vibraciones con el Gimbal activado.

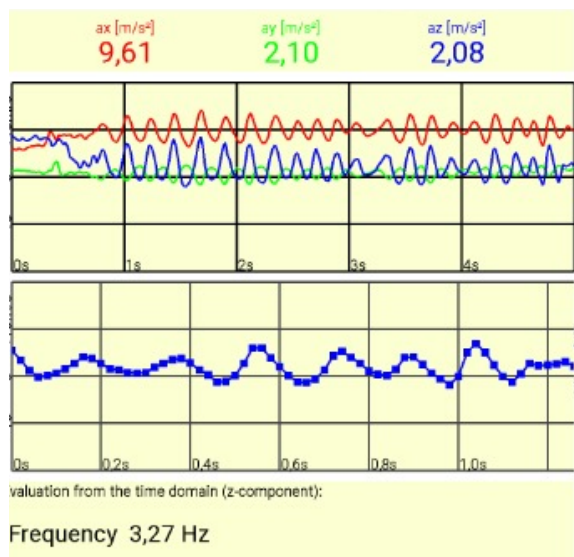


Figura 14. Datos registrados de aceleraciones con gimbal activado

En la gráfica de la figura 15 se muestra la reducción en la aceleración del eje x en un valor aproximado de  $1.8 \frac{m}{s^2}$  en un tiempo de 4 segundos. Se toman valores de la aplicación móvil para realizar este análisis.

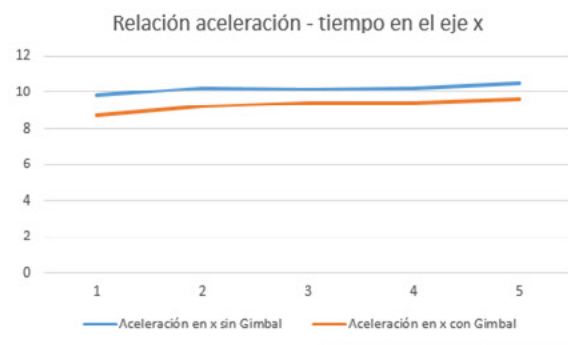


Figura 15. Aceleraciones registradas en el eje x

En la figura 65 se muestra las aceleraciones del eje “y” durante 4 segundos. Según la gráfica se puede observar que existe un crecimiento de la aceleración en el segundo 4 con el gimbal activado, esto es debido a un cambio de dirección de la aeronave provocando que el estabilizador ejerza un movimiento de misma magnitud en sentido contrario al receptado por los sensores.

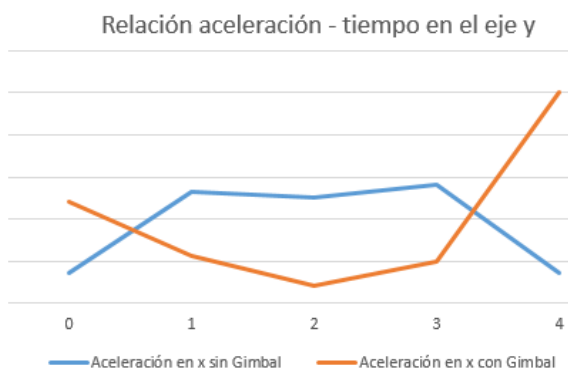


Figura 16. Aceleraciones Registradas en el eje y

### 3.2 Angulo de línea láser

Para analizar la estabilidad de la línea láser que es emitida, se realizan varias tomas del patrón de luz sobre una superficie plana, posteriormente se mide el ángulo que tiene la línea con respecto al suelo y cómo cambia con el movimiento de la aeronave.

Para poder identificar claramente el patrón de luz es necesario capturar las imágenes bajo condiciones de luz adecuadas que permitan la visualización

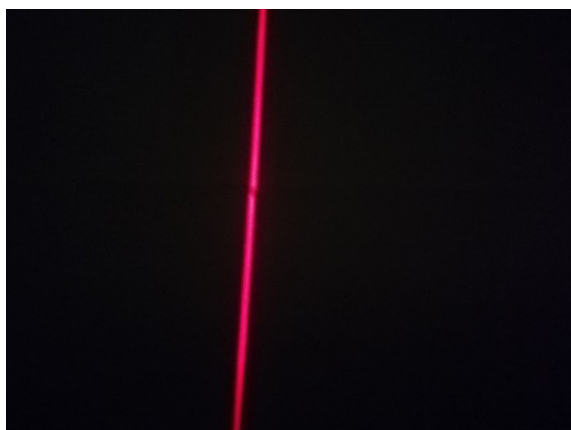


Figura 17. Proyección de línea láser en superficie plana

Cuando se empieza el experimento la línea laser tiene un ángulo de  $85^\circ$  con respecto al suelo, al iniciar el movimiento transversal de la aeronave es decir en sentido izquierda a derecha. La línea láser tiene un ángulo de  $78^\circ$  a 109 cm recorridos, y  $83^\circ$  a 172 cm. Lo cual indica que el prototipo del gimbal estabiliza la línea láser para que permanezca perpendicular al suelo con un rango de tolerancia de  $\pm 8^\circ$  (Pinto, 2019).

Tabla 4. Mediciones de ángulo de línea láser

Angulo	Distancia recorrida (cm)
$85^\circ$	0
$78^\circ$	109
83	172

## Conclusiones

- La estructura del prototipo impresa en 3D cumple que todos los componentes como cámaras, Smartphone, láser, servomotores sean trasladados por medio del dron sin presentar problemas durante el vuelo.
- Como componentes esenciales para el funcionamiento del prototipo de gimbal en un dron, son la estructura de acople al chasis en 4 puntos de la aeronave para lograr una sujeción adecuada, servomotores controlados por un arduino y un IMU MPU6050 como sensor que registre los valores de aceleraciones y orientación del dispositivo.
- La geometría para montar un sistema de escaneo 3D por iluminación estructurada estéreo, requiere que las dos cámaras se mantengan a una distancia máxima de 20 cm y un ángulo de inclinación de  $15^\circ$  con respecto al módulo láser, para captar la deformación del patrón de luz.
- La geometría correcta para montar un sistema de escaneo 3D por fotogrametría, requiere que el dispositivo electrónico que capta las imágenes se ubique en centro de la aeronave para que las imágenes obtenidas sean fácilmente relacionadas con los datos del GPS del dron. Además, en el cuadro de la cámara no debe captar ningún elemento del dron en vuelo.
- Las imágenes obtenidas con el gimbal activado son de mejor calidad, comparando la estabilidad, claridad y nitidez. Lo cual hace factible el procesamiento de la información captada.

- La estabilidad que genera el prototipo de gimbal a línea láser emitida, tiene una tolerancia en su ángulo de 0° a 7° con respecto al suelo. Además, el prototipo de gimbal contribuye a la reducción de vibraciones emitidas por el vuelo de la aeronave. Registrando una reducción de 1.8, 0.8 y 0.9 (m/s<sup>2</sup>) en las aceleraciones de los tres ejes x,y,z respectivamente con base a los registros obtenidos mediante la aplicación móvil “Vibration Analysis”.

## 5. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de un segundo dispositivo IMU, ubicado en el soporte de las cámaras para brindar valores de referencia que contribuyan a la estabilidad de los componentes.
- Para la fabricación digital por impresión 3D con los equipos mostrados se recomienda establecer una tolerancia de  $\pm 1$  mm en el diseño de los diferentes componentes.
- Para controlar los ejes del gimbal por medio del control remoto se recomienda la conexión directa del circuito con el controlador de vuelo de la aeronave, para ello se debe verificar la compatibilidad de ambos dispositivos electrónicos.

## 6. Bibliografía

- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). *Diseño asistido por computador*.
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas*. Buenos Aires: UNIPE: Editorial Universitaria.
- Ferreño, E. (26 de Octubre de 2017). *www.profesionalreview.com*. Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/2017/10/26/que-es-un-gimbal-para-que-sirve/>
- Kuzey, B. &. (2007). 2 Axis Gimbal Camera Design.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño De Maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos* (4ta ed.). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. Obtenido de <https://www.udocz.com/read/disenno-de-maquinaria-robert-l-norton-4-edicion>
- Pinto, C. (2019). *Diseño y desarrollo de gimbal para cámaras y láseres que funcionaran como escáneres 3d en drones*.
- Tizne Mena, G. (2015). *Escáner 3D autónomo con RaspberryPi*. Universitat Politècnica de València.
- Torres, J. (s.f.). *Diseño asistido por ordenador*. Granada : Universidad de Granada.
- White, G. (2010). *Introducción al Análisis de Vibraciones*. Woburn: Azima DLI.

**Recibido:** 16 de junio de 2022  
**Aprobado:** 1 de diciembre de 2022