

Universidad Aeronáutica en Querétaro



Innovación educativa para el desarrollo de México

---

## TESIS

---

Trabajo Profesional para obtener el Título de Ingeniero en Electrónica y

Control de Sistemas de Aeronaves.

Marco Antonio Aguilar Gallardo

Dirige: Antonio Flores

Municipio de Colón, Querétaro

15 de enero de 2020

DEDICATORIA

## AGRADECIMIENTOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. Uso de una gimbal para una IMU [Grewal, 2007]	2
1.2. Uso de una gimbal en un motor de propulsión [NAS, 2013]	3
1.3. Jerrie Cobb, uno de los Mercury 13, da un giro en la plataforma gimbal. Créditos: NASA	4

## ÍNDICE DE CUADROS



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

En el presente capitulo se expone el objetivo general, así como sus derivados. En la primera sección se aborda el tema de investigación donde especifica la justificación del presente trabajo, posteriormente se sintetiza algunas de las investigaciones que sirvieron como base para la elección del tema previamente descrito. Finalmente se dan las razones de la investigación y se exponen las aportaciones derivadas del tema de tesis.

### **1.1. Tema de investigación**

En el campo de la aeronáutica hay una rama que en los últimos años ha sido objeto de estudio debido a su exponencial importancia para tareas críticas, se trata de los vehículos aéreos no tripulados UAV (del inglés unmanned aerial vehicle), donde dichas tareas críticas han podido alcanzar sus objetivos en parte gracias a la implementación reciente de visión artificial, que dicho sea de paso ha dado pie a múltiples investigaciones para generar una buena comunicación de datos entre el UAV y un sistema receptor en tierra, dado que a veces las tareas requieren un tiempo de respuesta menor del que un protocolo de comunicación puede otorgar o en donde se necesita garantizar la seguridad tanto de software y hardware ha surgido la necesidad de diseñar un sistema embebido con la finalidad de evitar los problemas relacionados con los protocolos de comunicación y a su vez tener como resultado un sistema enteramente autónomo.

### **1.2. Justificación**

### **1.3. Objetivo**

Diseñar, instrumentar y controlar un dispositivo gimbal que sea capaz de seguir un objeto a través de visión artificial para implementarse en un UAV de categoría pequeña a velocidad baja.

## 1.4. Objetivos específicos

- Obtener el modelo matemático de una gimbal de 2 grados de libertad.
- Diseñar e implementar el sistema embebido que dará el soporte electrónico a la gimbal.
- Capturar figuras geométricas definidas mediante el uso de una cámara digital y emplear algoritmos de visión artificial para la obtención de datos.
- Diseñar un controlador autónomo con base en el modelo matemático, previamente obtenido.

## 1.5. Estado de la cuestion

La aparición de la gimbal no es un termino para nada nuevo, de hecho es viejo más de lo que muchos podemos creer. Fue en el 250 antes de nuestra era cuando el inventor Philo of Byzantium describió un bote de tinta de ocho lados con una abertura en cada lado, que se puede girar de modo que mientras cualquier cara está en la parte superior, se puede sumergir y entintar un bolígrafo, aunque la tinta nunca se agota a través de los agujeros de los otros lados. [Gim, ].

Desde entonces y hasta la fecha múltiples científicos han desarrollado investigaciones alrededor de dicho artefacto, algunos teniendo más éxito que otros; los cuales serán brevemente expuestos con la finalidad de obtener el estado actual en el que se encuentra la gimbal y su avance tecnológico.

### ■ Navegación inercial

En la navegación inercial, como se aplica a los barcos y submarinos, se necesita un mínimo de tres gimbals para permitir que un sistema de navegación inercial (masa estable) permanezca fijo en el espacio inercial, compensando los cambios en el guiñada, inclinación y balanceo del barco.

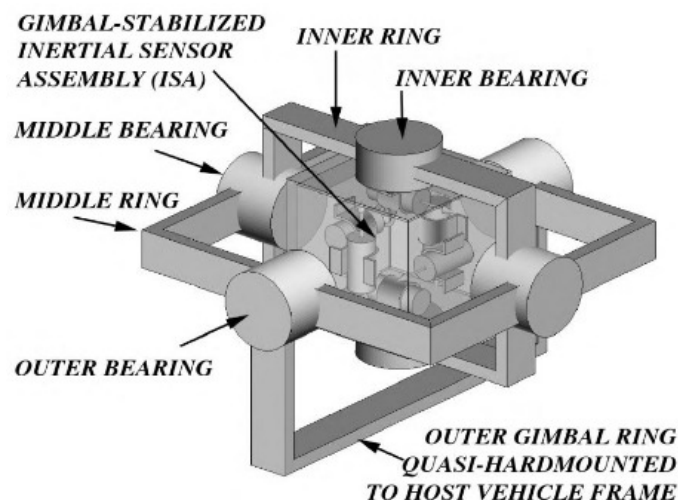


Figura 1.1: Uso de una gimbal para una IMU [Grewal, 2007]



En esta aplicación, la Unidad de medición inercial (IMU) está equipada con tres giroscopios montados ortogonalmente para detectar la rotación alrededor de todos los ejes en el espacio tridimensional. Las salidas giroscópicas accionan motores que controlan la orientación de los tres gimbal según sea necesario para mantener la orientación de la IMU.

#### ■ Motores de cohete

En la propulsión de naves espaciales, los motores de cohetes generalmente se montan en un par de gimbals para permitir que un solo motor logre el empuje sobre los ejes de inclinación y guiñada; o, a veces, solo se proporciona un eje por motor. Para controlar el giro, se utilizan motores gemelos con señales de control de inclinación diferencial o guiñada para proporcionar torque sobre el eje de balanceo del vehículo.

Uno de los motores más famosos es el J-2X. Es un motor de cohete avanzado altamente eficiente y versátil con las características ideales de empuje y rendimiento para impulsar la etapa superior del espacio de la NASA. [NAS, ]

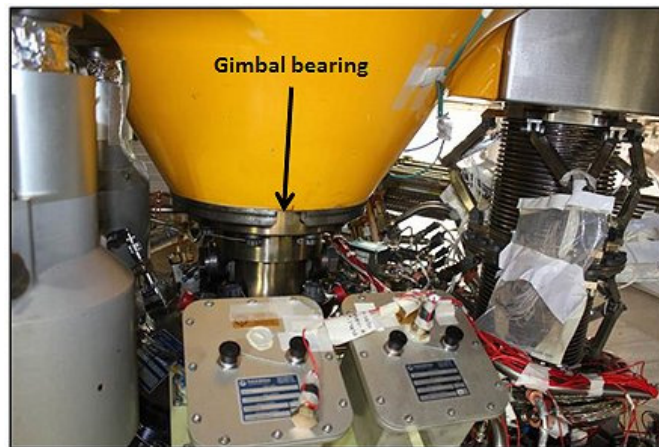


Figura 1.2: Uso de una gimbal en un motor de propulsión [NAS, 2013]

#### ■ Entrenamiento para astronautas

Sistema de simulación de maniobras de tipo caída que se pueden encontrar en el vuelo espacial fue creado por la NASA y era conocido como "the gimbal rig,". Tres jaulas tubulares de aluminio podrían girar por separado o en combinación para dar movimientos de balanceo, cabeceo y guiñada a velocidades de hasta 30 revoluciones por minuto, mayores que las esperadas en vuelos espaciales reales. Los chorros de gas nitrógeno, unidos a las tres jaulas, controlaron el movimiento. Desde el 15 de febrero hasta el 4 de marzo de 1960, la plataforma de cardán proporcionó una capacitación valiosa para los siete astronautas del Proyecto Mercurio. Cada uno experimentó unas cinco horas de tiempo de vuelo simulado. [MER, 2017]



Figura 1.3: Jerrie Cobb, uno de los Mercury 13, da un giro en la plataforma gimbal.  
Créditos: NASA

## **1.6. Contribuciones**

## **1.7. Alcances**

## **1.8. Estructura de la tesis**

## CAPÍTULO 2

## MARCO TÉORICO

### 2.1. Óptica

La visión artificial surge de un amplio estudio probabilístico y matemático del procesamiento de imágenes digitales, pero sobre todo de análisis humanos y de la intuición ya que de estas últimas el ingeniero hace selección de entre una u otra técnica. Esta elección se basa usualmente en juicios visuales subjetivos.

Entender los conceptos básicos de la percepción humana es entonces pertinente, donde la Óptica nos ayudará a entender mejor como es que el ojo humano percibe y como lo hace una cámara.

La función de la óptica de una cámara es captar los rayos luminosos y concentrarlos sobre el sensor sensible de la cámara de vídeo. Después de determinar el tipo de iluminación que mejor se adecua al problema, la elección de una óptica u otra influirá en la calidad de la imagen y el tamaño de los objetos.

#### 2.1.1. Estructura del ojo humano

- **Cornea:** La córnea es una estructura del ojo que permite el paso de la luz desde el exterior al interior del ojo y protege el iris y el cristalino. Posee propiedades ópticas de refracción y para garantizar su función debe ser transparente y es necesario que mantenga una curvatura adecuada.
- **Esclerótica:** Es el recubrimiento exterior blanco del ojo. La esclerótica le da su color blanco al globo ocular.
- **Coroides:** Es la capa de vasos sanguíneos y tejido conectivo entre la parte blanca del ojo y la retina (en la parte posterior del ojo). Es parte de la úvea y suministra los nutrientes a las partes internas del ojo.
- **Cuerpo ciliar:** Es una estructura circular que es una prolongación del iris, la parte de color del ojo. También contiene el músculo ciliar, el cual cambia la forma del cristalino cuando los ojos se enfocan en un objeto cercano. Este proceso se denomina acomodación.

- **Diafragma Iris:** que se expande o contrae para controlar la cantidad de luz que entra en el ojo. La apertura central del iris, llamada pupila, varía su diámetro de 2 a 8mm. El frente del iris contiene el pigmento visible del ojo, y la parte trasera contiene un pigmento negro.
- **Cristalino:** El cristalino es “la lente” del ojo y sirve para enfocar, ayudado por los músculos ciliares. El cristalino es una lente que actúa como una lente biconvexa, lenticular, flexible y avascular, cuya principal función es la de enfocar los objetos en las distintas distancias correctamente.
- **Retina:** Es la capa de tejido sensible a la luz que se encuentra en la parte posterior globo ocular. Las imágenes que pasan a través del cristalino del ojo se enfocan en la retina. La retina convierte entonces estas imágenes en señales eléctricas y las envía por el nervio óptico al cerebro.

### 2.1.2. Formación de imágenes en el ojo

En una cámara fotográfica se recibe la luz que traspasa el diafragma, pasa por los cristales de la cámara hasta llegar al CCD(Charge Coupled Device o, en español, Dispositivo de Carga Acoplada) o sensor, que es donde se forma la imagen correcta y se envía al procesador.

Algo similar pasa en el ojo, la pupila es el diagrama natural que filtra la luz que entra en el ojo, pasa por la lente (el cristalino) que converge los rayos hasta llegar a la retina, que es la estructura que tiene las células fotosensibles y dónde se produce la imagen, y a través del nervio óptico se transporta la información al cuerpo geniculado, que es la parte del cerebro donde se produce la visión.

El ojo esta formado de dos componentes principales:

- **Componentes ópticos:** permiten la formación de la imagen en la retina y son los siguientes: la córnea, el cristalino, la pupila, el humor acuoso y el humor vítreo que permiten la formación de una imagen en la retina.
- **Componentes neurológicos:** son los que transforman la información óptica en eléctrica y transmiten la información al cuerpo geniculado lateral. Estos componentes son la retina y el nervio óptico.

# CAPÍTULO 3

## MODELO MATEMATICO

## CAPÍTULO 4

### VISION ARTIFICIAL

## BIBLIOGRAFÍA

- [Gim, ] Gimbal. <https://playlists.net/artists/gimbal>. Accessed: 2020-01-10.
- [NAS, ] Nasa's j-2x rocket engine development. <https://www.nasa.gov/exploration/systems/sls/j2x>. Accessed: 2020-01-10.
- [NAS, 2013] (2013). gimbal bearing – liquid rocket engines (j-2x, rs-25, general). <https://blogs.nasa.gov/J2X/tag/gimbal-bearing/>. Accessed: 2020-01-10.
- [MER, 2017] (2017). The gimbal rig mercury astronaut trainer. <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/history/mastif.html>. Accessed: 2020-01-10.
- [Grewal, 2007] Grewal, M. S. (2007). *Global Positioning Systems, inertial navigation, and integration*. Wiley.