



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO AUTÓNOMO TIPO ALA VOLANTE COMO PLATAFORMA LIBRE DE DESARROLLO, PARA MONITOREO DEL ENTORNO POR MEDIO DE TRAYECTORIAS PREDEFINIDAS EN EL SECTOR RURAL”

Autores:

Lovato Huertas, Harley Patricio
Navas Jácome, Richard Fernando

Director:

Ing. Patricia Nataly Constante Procel



RESUMEN

El estudio se centra el diseño estructural de la aeronave y el criterio para la selección de materiales y perfil alar. Aspectos importantes para escoger los materiales están en función del peso y la resistencia mecánica teniendo en cuenta que la estructura debe ser lo más liviano posible y que pueda soportar todos los esfuerzos que se producen durante el vuelo. El sistema de control de vuelo está constituido por una tarjeta Open Source encargado del movimiento de los actuadores que controlan los movimientos de la aeronave en vuelo y la propulsión del motor para abastecer un vuelo asistido o completamente autónomo definiendo la ruta deseada previamente. Una vez en el aire, el prototipo es capaz de tomar imágenes y video para realizar procesamiento de imágenes y mapeo 3D del área sobrevolada.

INTRODUCCIÓN

En el país, existen pocas o casi nulas empresas que se dediquen al diseño y construcción de vehículos aéreos no tripulados; la mayoría de productos ofertados en ésta línea, son de procedencia extranjera. Los problemas que origina son varios: los precios elevados, tiempos de espera prolongados para recibir el producto. Todos estos inconvenientes impiden el avance de ésta área en el país.

Los vehículos aéreos no tripulados son muchos permiten cubrir vastas extensiones de terreno, sin utilizar muchos recursos energéticos y en poco tiempo. La introducción de un producto en el mercado nacional que sea de bajo costo, posibilite la investigación y el desarrollo posterior gracias a su plataforma "Open Source" representa una contribución valiosa al sector especializado en el trabajo con vehículos aéreo no tripulados y aplicaciones.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un vehículo aéreo no tripulado autónomo tipo Ala Volante como plataforma libre de desarrollo, para monitoreo del entorno por medio de trayectorias predefinidas en el sector rural.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Seleccionar un modelo de vehículo aéreo no tripulado, por medio de investigación bibliográfica, que cumpla con los requerimientos necesarios en cuanto a tiempo de vuelo y sustentación.

Diseñar el modelo del vehículo aéreo no tripulado en software CAD/CAE para analizar el comportamiento estructural y aerodinámico.

Construir el vehículo aéreo no tripulado implementando los sistemas de vuelo autónomo y monitoreo.

Procesar digitalmente las imágenes y los datos de vuelo obtenidos, mediante algoritmos, para mostrar al usuario información de interés sobre el área monitoreada.

MARCO TEÓRICO

Madera Balsa

Es la madera más ligera usada en aeromodelismo. Es blanda y permite trabajar fácilmente y cortar y pegar sin ningún problema.

Madera contrachapado

Son planchas formadas por el resultado de pegar varias láminas de madera entre sí. Esto proporciona mayor uniformidad y resistencia mecánica al material.

Madera MDF

Fibra de Densidad Media, Presenta una estructura homogénea y maciza, ideal para someterse a procesos como taladrado, fresado, tallado, corte laser, etc.

Poliestireno expandido EPS

Es un material compuesto plástico con textura espumosa. De bajo peso, capacidad de absorber los golpes y facilidad para moldearlo.

MARCO TEÓRICO

Planeadores

superficie alar mucho mayor que otros tipos de aeronaves, debido a que dependen de las alas para su sustentación. El vuelo se produce por el flujo de aire que se desliza por las alas netamente

Motor a combustión interna

Funcionan al proveer combustible a cilindros para producir movimiento rotatorio, este es aprovechado por hélices para impulsar el vehículo.

Motor eléctrico

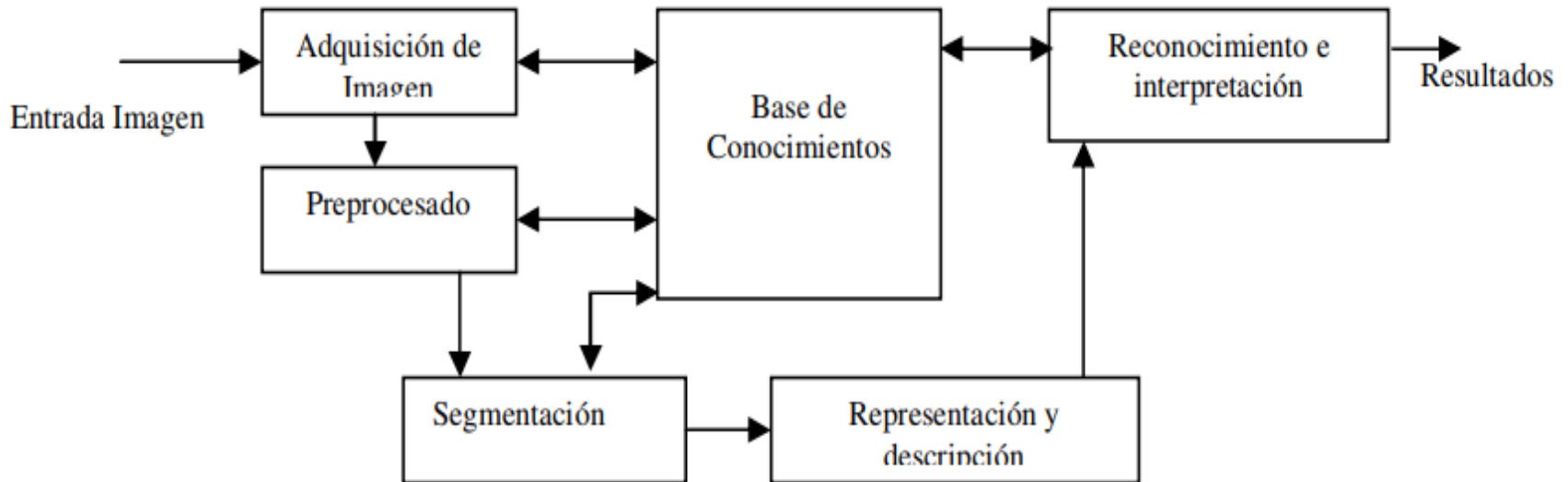
Se puede cambiar la velocidad de estos motores por medio de variadores específicos. La fuente de energía son baterías.

Propulsión a turbina

Son mucho más costosos y generan mucha más potencia, permitiendo que los prototipos lleguen a altas velocidades.

MARCO TEÓRICO

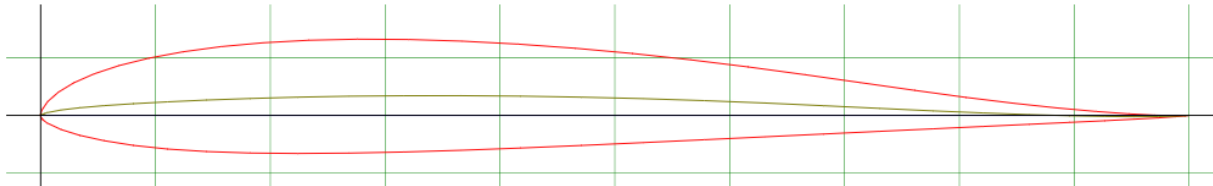
Componentes de un sistema de visión artificial



DISEÑO

Perfil alar

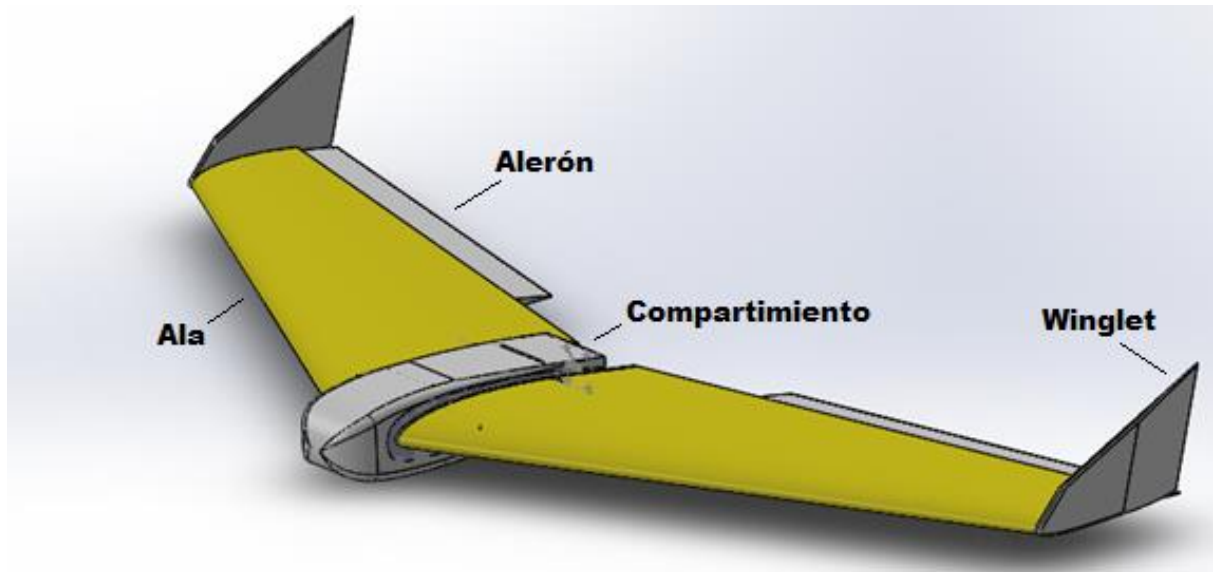
Un perfil alar es la forma del área transversal de un elemento que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que generen sustentación.



DISEÑO

DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR

El modelo es simétrico con respecto al plano central con un perfil alar que inicia en la mitad y disminuye su tamaño progresivamente hasta llegar a los extremos, siempre manteniendo la sección como se mencionó anteriormente. En la parte central del modelo se ubica un compartimiento con el propósito de unir los dos perfiles alares y alojar todos los componentes necesarios para el funcionamiento del prototipo.

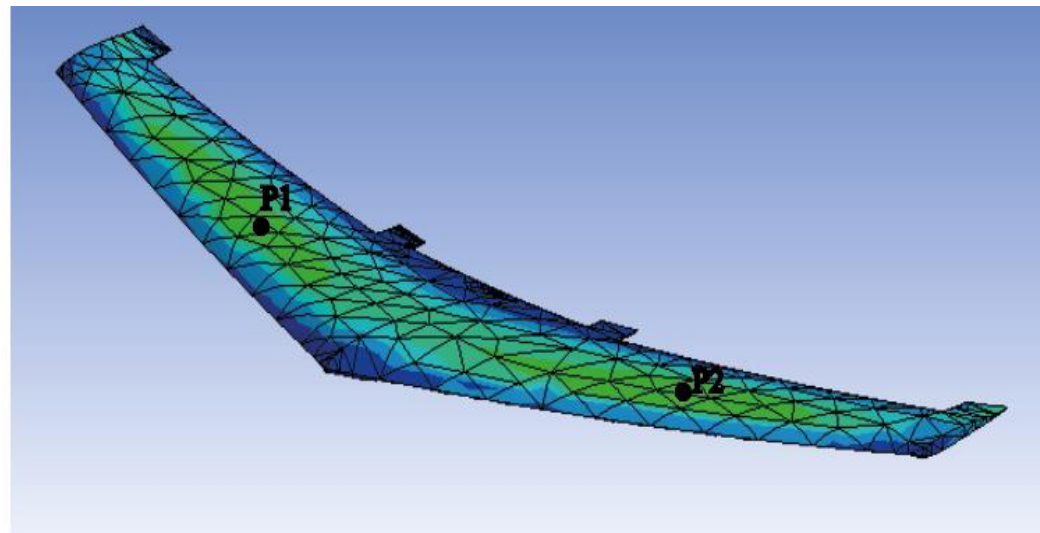
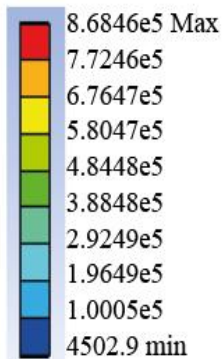


DISEÑO

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Con un programa de CAE se analiza el comportamiento de la estructura a las fuerzas puntuales que debe soportar el ala volante cuando vuela, una de ellas es sostener su propio peso para lo cual se conoce el valor de 1.2Kg que al multiplicar por la gravedad de 9.8m/s^2 se obtiene 11.76 N. El valor del esfuerzo máximo que se genera en los puntos P1 y P2 es de $4.8448\text{e}5$ Pa y su equivalente es 0.48MPa.

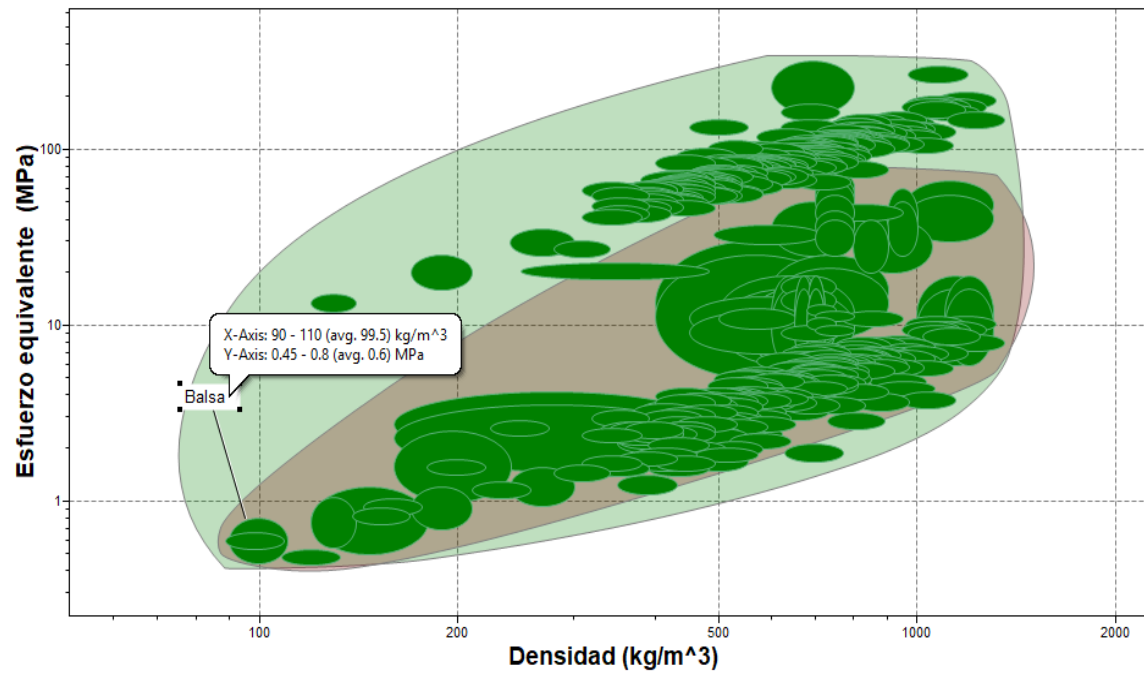
Esfuerzo equivalente
Von-Mises
Unidades: Pa



DISEÑO

SELECCIÓN DE MATERIALES

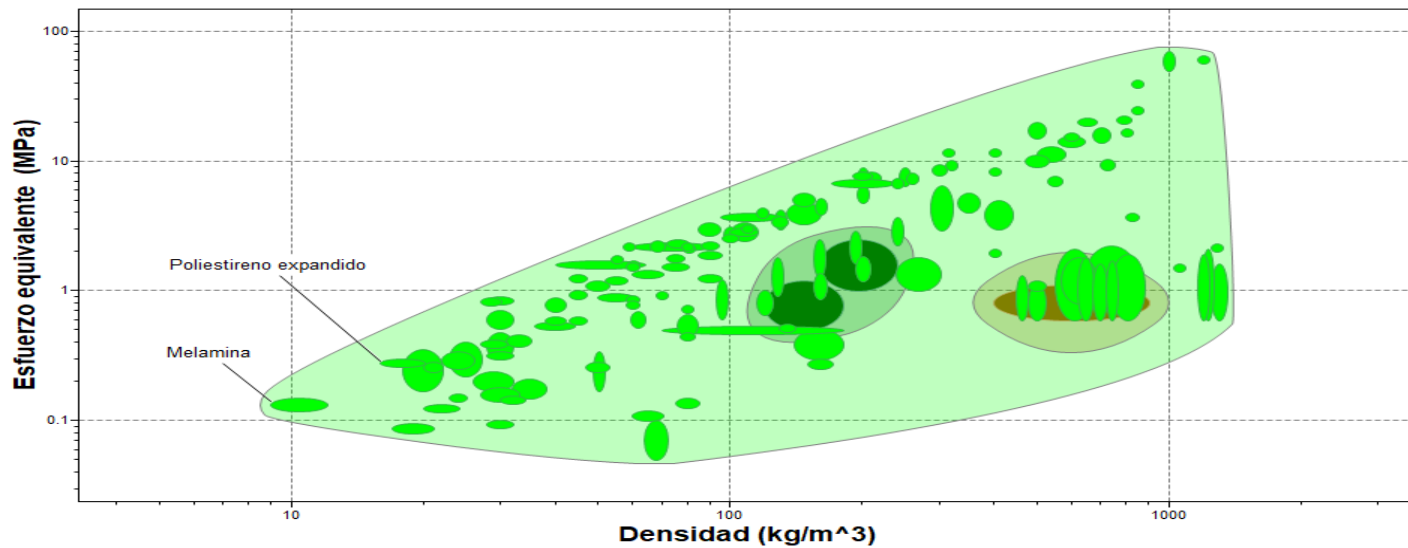
En el eje Y se encuentra el esfuerzo equivalente (MPa) y en el eje X la densidad en (Kg/m³). El material que se acerca al valor de 0.48 MPa es la madera Balsa con un valor de 0.66 MPa y cuya densidad es 99.5 Kg/m³.



DISEÑO

SELECCIÓN DE MATERIALES

Las mismas características se encuentran en dos materiales, el primero la espuma de Melamina con un esfuerzo equivalente de 0.134 MPa y cuya densidad es 10.4 Kg/m³ y el Poliestireno Expandido (Espuma Flex) con un esfuerzo equivalente de 0.52 MPa y cuya densidad es 9.4 Kg/m³. Los materiales para la selección son madera balsa y la espuma de poliestireno expandido para la construcción del prototipo por sus características mecánicas y su baja densidad. Estos materiales están disponibles en el mercado local.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Por investigación y experiencia utilizando vehículos aéreos no tripulados de distintos de tipos, se llegó a la plataforma Ardupilot Mega (APM) que básicamente es un piloto automático basado en la plataforma Arduino Mega de igual manera Open Source



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Se establece la conexión inalámbrica por radio control entre la emisora y la receptora a una frecuencia de 2,4 GHz; la señal de salida del dispositivo receptor es una modulación por ancho de pulso (PWM). En este caso la señal PWM ingresa a los puertos de entrada de la tarjeta APM físicamente mediante cables.



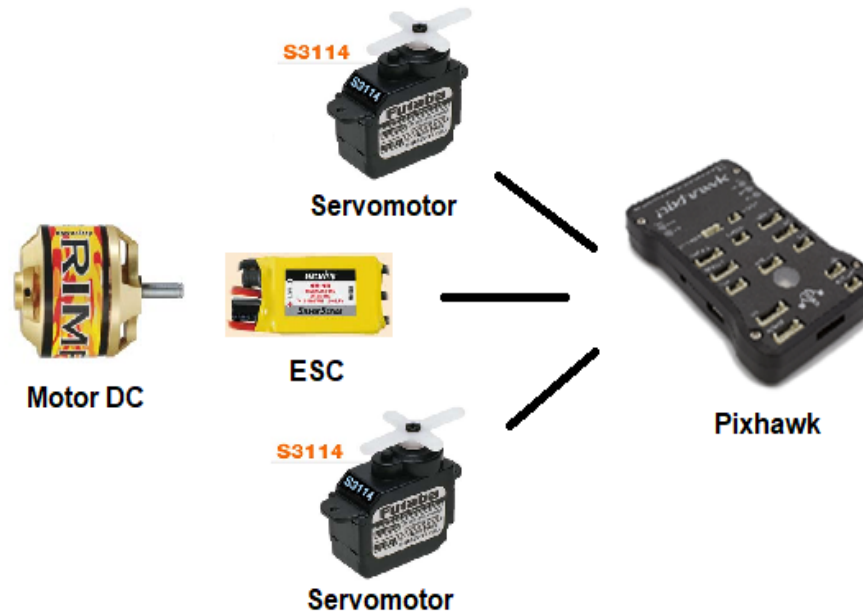
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

La tarjeta APM se comunica físicamente mediante comunicación serial a dos hilos, ambos dispositivos de telemetría se conectan inalámbricamente, finalmente la computadora y el dispositivo restante se comunican físicamente mediante vía serial por el puerto USB.



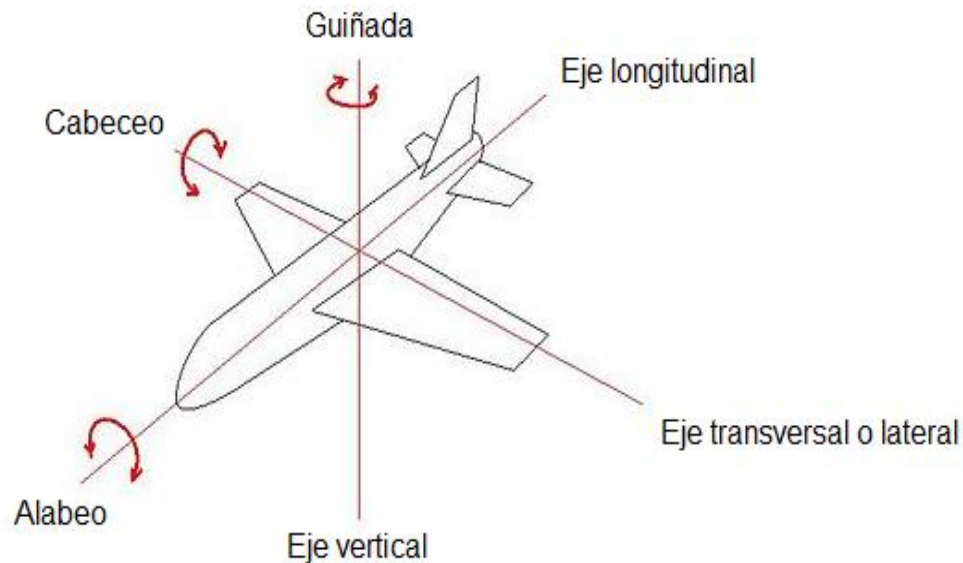
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

La señal de salida es del tipo PWM, dos de ellas son asignadas para el control de los servomotores que manipular los alerones de alas de la aeronave, estos canales conducen información ya procesada con la finalidad de siempre mantener la estabilidad del prototipo. Una señal de salida es asignada para el control del motor principal encargado de propulsar la estructura, el pin es conectado en primer lugar al variador (ESC) y al motor brushless.

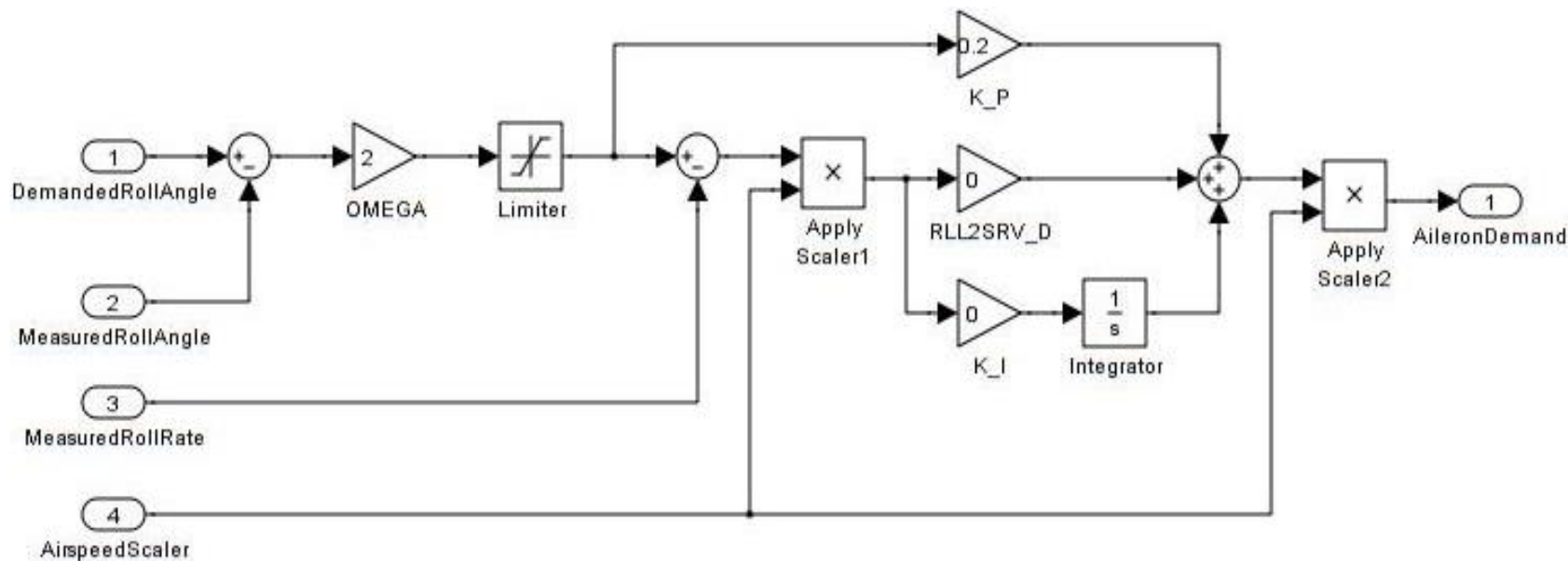


SISTEMA DE CONTROL

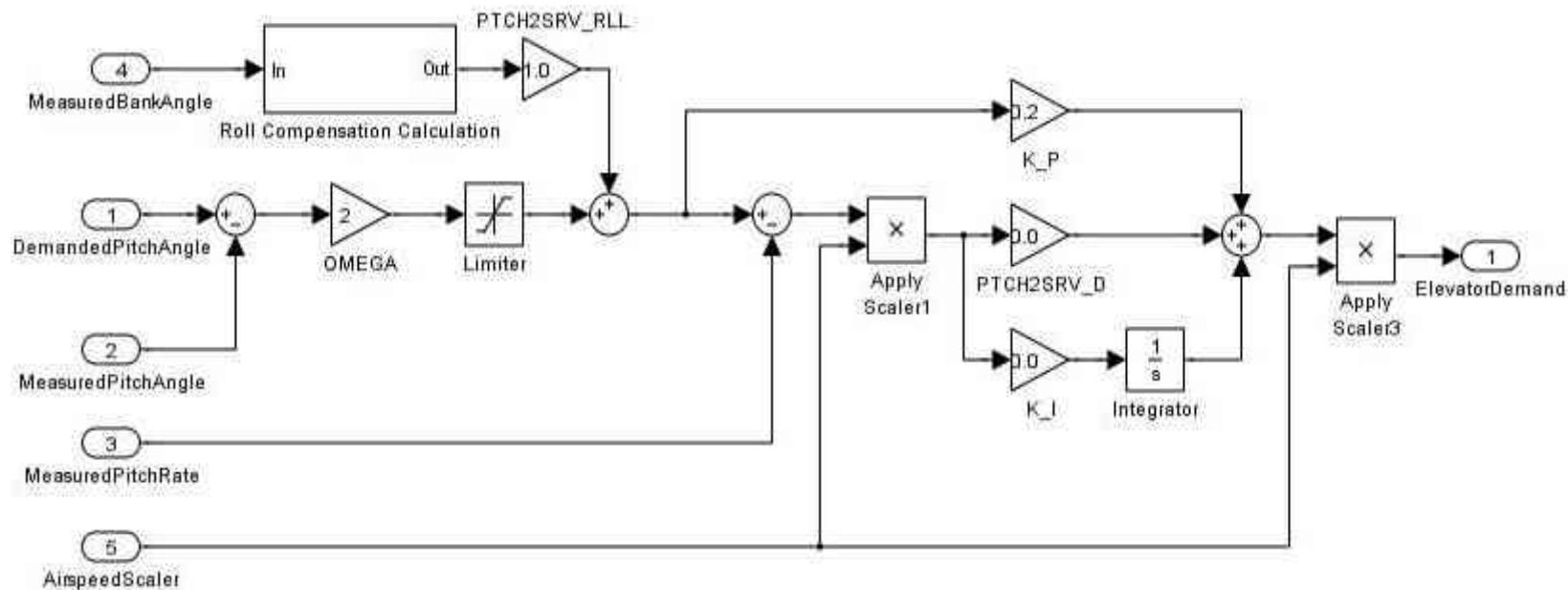
El sistema de control va dirigido a las variables que gobiernan el movimiento de una aeronave, en este caso son los ángulos de rotación “roll, pitch y yaw” que traducidos al español son cabeceo, balanceo y timón.



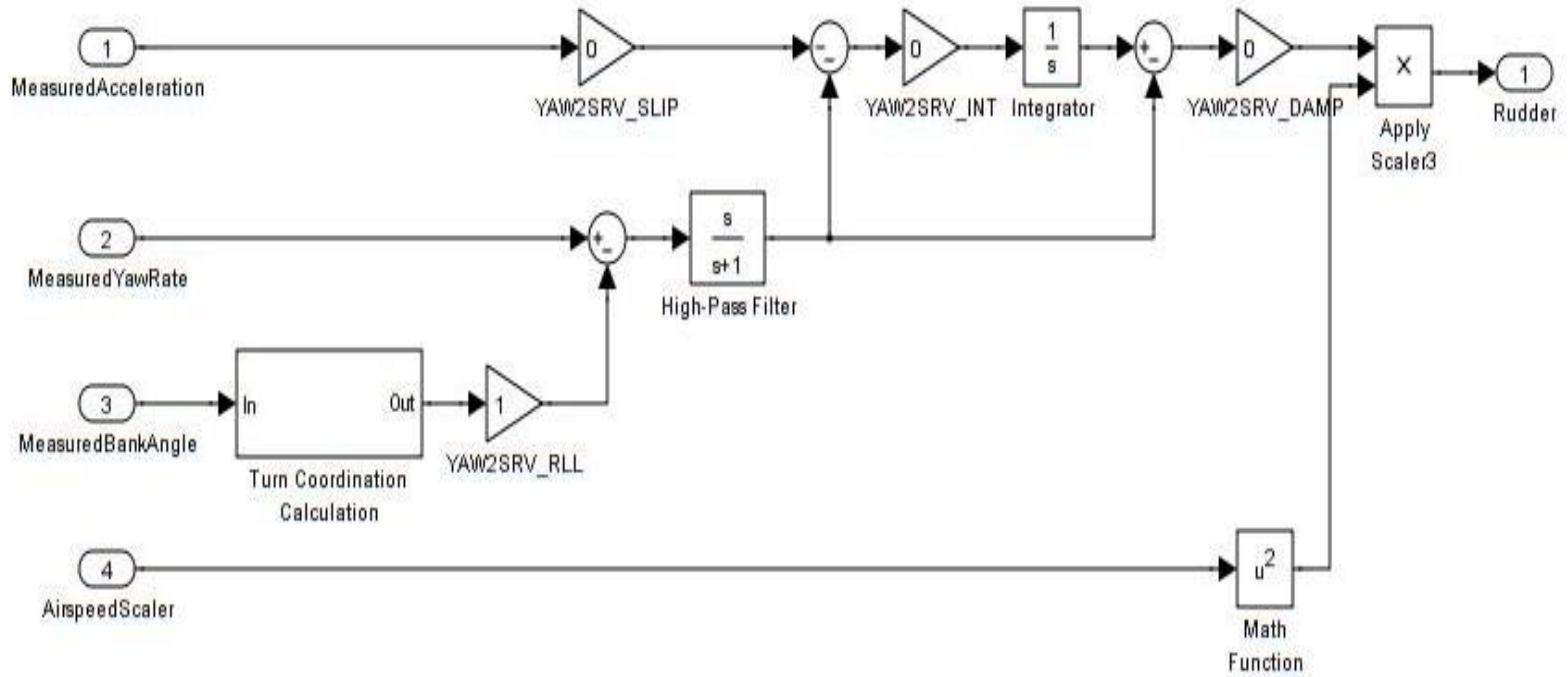
SISTEMA DE CONTROL DE BALANCE



SISTEMA DE CONTROL DE CABECEO



SISTEMA DE CONTROL DE GIRO



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO

**SISTEMA DE CAPTURA DE
FOTOS**

**SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE VIDEO**

SISTEMA DE CAPTURA DE FOTOS

Está constituido principalmente por dos dispositivos: la cámara y la tarjeta de control. La finalidad de este sistema es recolectar una serie de imágenes en el vuelo para posteriormente generar un mapa 3D del terreno, por esta razón el momento en que se captura la imagen debe ser en una posición e intervalo de tiempo determinado lo cual es dictaminado por la tarjeta de control.



Cámara



Tarjeta de control

SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VIDEO

Constituido por una cámara a bordo, los módulos de envío y recepción de video y la computadora de la estación en tierra. La conexión entre la cámara y el modulo emisor es una comunicación serial a dos hilos. Tanto el emisor como el receptor se conectan inalámbricamente configurando un determinado canal de radiotransmisión para ambos dispositivos. La salida del módulo receptor es el video empleando el protocolo RCA, esta señal hay que convertirla para que pueda ser introducida a la PC.

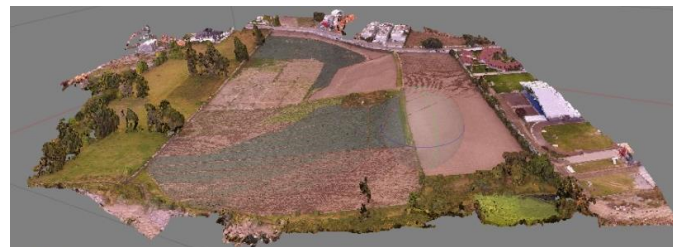


MAPEO 3D

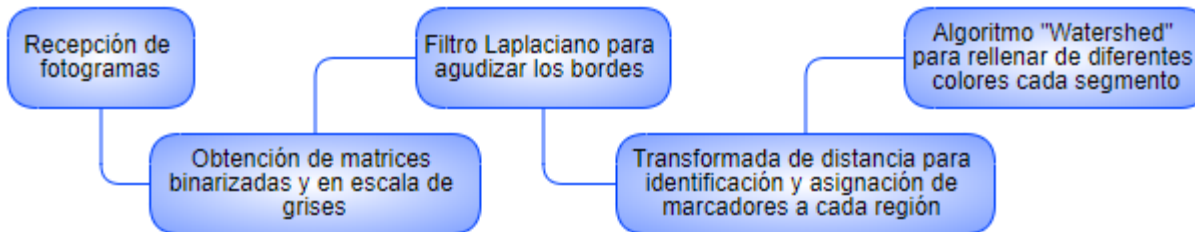
PLAN DE VUELO



MAPA 3D



VISIÓN ARTIFICIAL



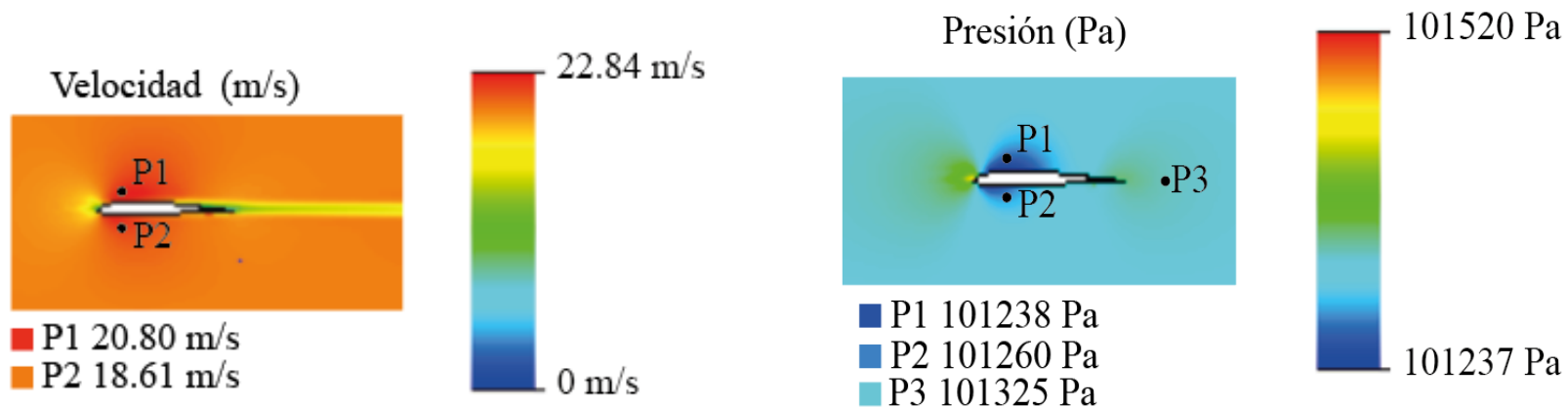
a)

b)



PRUEBAS Y ANÁLISIS

ANÁLISIS DEL PERFIL ALAR



PRUEBA DE AUTONOMÍA

Para esto se mide el tiempo desde que la aeronave despegue, después se mantiene un vuelo constante con el motor al 100 % y 60 % de su capacidad de propulsión, valores a los que no se corra riesgos de colisión por pérdida de control o de sustentación, el vuelo se extiende hasta que el nivel de batería descienda hasta un 20%, en este punto se inician con las maniobras para el aterrizaje

No. Prueba	Propulsión	Tiempo de vuelo
1	100 %	8 minutos 55 segundos
2	100 %	8 minutos 12 segundos
3	100 %	8 minutos 20 segundos
	Promedio	8 minutos 29 segundos
4	60 %	11 minutos 40 segundos
5	60 %	10 minutos 50 segundos
6	60 %	11 minutos 20 segundos
	Promedio	11 minutos 25 segundos

PRUEBA DE ALCANCE DE TELEMETRÍA Y VIDEO

Se pretende determinar hasta que distancia se puede mantener la conexión y corroborar el radio de alcance de 1 Km que especifica el fabricante. Las pruebas se realizan en tierra para evitar enviar la aeronave a una distancia superior al límite y no poder recuperarla. Para ejecutar los ensayos se alejan gradualmente ambas partes hasta el punto donde se pierda la comunicación, tomando en cuenta el indicador de intensidad de señal recibida.

No. Prueba	Distancia (m)	Indicador de señal (%)
1	580	7
2	600	7
3	590	8
4	580	7
5	570	8
Promedio	584	7

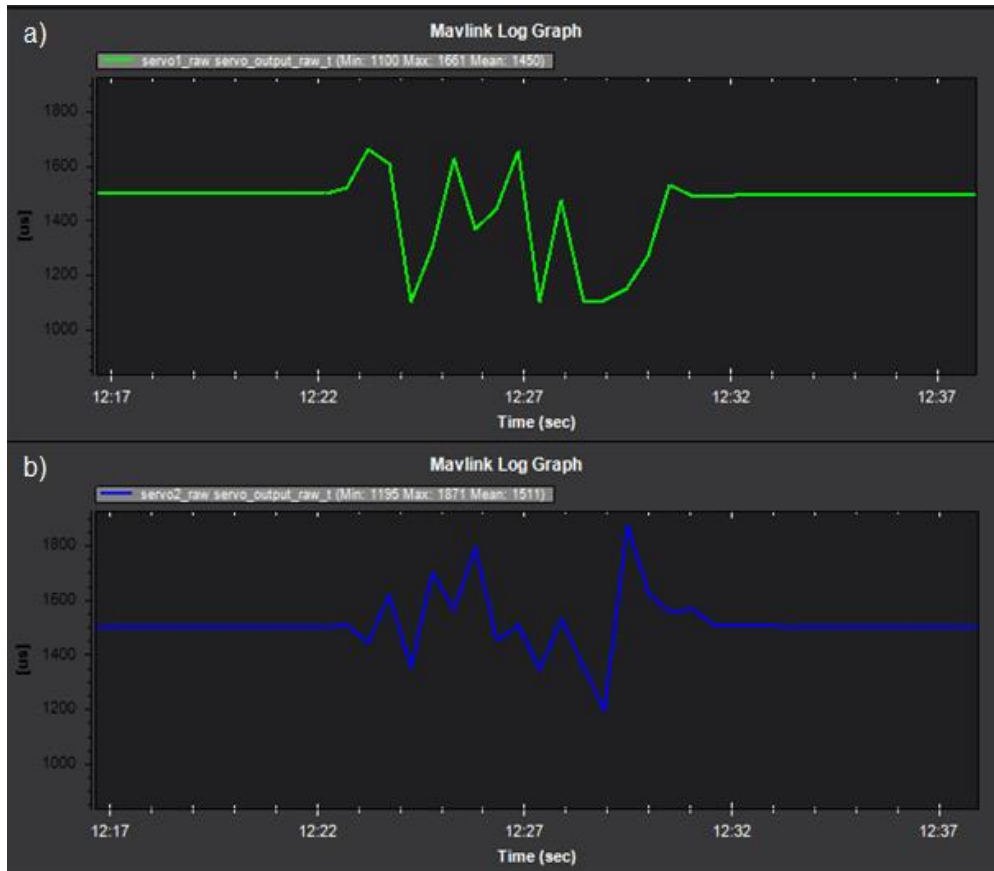
No. Prueba	Distancia (m)
1	505
2	510
3	504
4	504
5	495
Promedio	504

PRUEBA DE CONFIABILIDAD

Para comprobar el funcionamiento del sistema encargado de capturar fotografías para reconstruir un mapa 3D, se realizaron pruebas con un mismo plan de vuelo. En la tabla 4 muestran el número de imágenes válidas y no válidas para la generación del mapeo, para las primeras tres pruebas se fijaron 50 muestras y los dos restantes 70. El 93 % de las fotografías son aceptables.

Fotos validadas	Prueba					Total	Porcentaje
	1	2	3	4	5		
Si	47	46	48	64	65	270	93 %
No	3	4	2	6	5	20	7 %
Total	50	50	50	70	70	290	100%

ANÁLISIS DE CONTROL DE VUELO



CONCLUSIONES

- El UAV planteado es ideal para el sector rural, al ser un Ala Volante tiende a ser más tolerante en el aire frente a errores técnicos por su capacidad de deslizamiento natural sin potencia y puede transportar mayores cargas a distancias largas con menor potencia. Además, no necesita de una pista para su despegue y aterrizaje.
- Se utilizó software CAD y CAE para diseñar y analizar el perfil alar y la estructura del UAV, corroborando que la aeronave puede mantener un vuelo estable. El prototipo mide 1,23 metros de extremo a extremo con un peso de 1,2 kilogramos. Con el estudio CFD se comparó la velocidad del flujo de aire alrededor del perfil alar y los valores de presión que se ejercen, comprobando que se genera la sustentación necesaria para que la aeronave pueda mantenerse en vuelo.

CONCLUSIONES

- La plataforma ofrece un entorno de desarrollo para el procesamiento y análisis de imágenes, gracias a la librería libre OpenCV y sus herramientas es posible emplear algoritmos de todo tipo como aplicación de filtros, binarización, identificación de objetos específicos con entrenamiento de redes neuronales, etc. Se implementó un programa de segmentación de imágenes para identificar las regiones de la imagen con colores. El mapeo 3D se logra tomando una serie de fotos a un área delimitada que no debe sobrepasar el radio límite de la ubicación de la estación en tierra. También se debe tomar en cuenta que la distancia y tiempo de duración de la misión no sobrepase los límites de autonomía del UAV. La recepción de video para el monitoreo es óptimo en un aérea con radio de 504 metros alrededor de la estación en tierra.

CONCLUSIONES

- La autonomía de vuelo es inversamente proporcional a la potencia del motor con la que se vuela. Con la capacidad de propulsión al 100% se tiene un promedio de tiempo de vuelo de 8 minutos con 29 segundos y al 60 % de propulsión el promedio es de 11 minutos con 25 segundos. Evidenciando que a mayor propulsión menor tiempo de vuelo disponible
- Para asegurar el correcto funcionamiento del UAV se deben cumplir las condiciones de vuelo, la superficie máxima es 504 metros a la redonda tomando en cuenta que el indicador de señal de telemetría no descienda hasta el 7% y la duración del plan de vuelo no debe superar los 11 minutos con 25 segundos. El porcentaje de éxito con el que el prototipo recolecta fotografías del terreno es del 93%.

RECOMENDACIONES

- Al momento de elegir una tarjeta controladora OpenSource de la familia Ardupilot, cerciorarse de que no estén obsoletos, de lo contrario pueden presentarse problemas de compatibilidad de las versiones más actualizadas para el control de UAV's.
- Para obtener una mayor propulsión con una mejor eficiencia energética, se puede optar por reemplazar el único motor del prototipo actual por dos motores de menor tamaño, así se consigue una mayor capacidad de empuje con una menor demanda de energía.
- La persona encargada del pilotaje del prototipo para el despeje, aterrizaje y pruebas de vuelo debe tener experiencia previa en el campo de aeromodelismo, para evitar daños del modelo por pérdida de control.
- Si el operador es inexperto en el campo, se sugiere usar simuladores para el entrenamiento en el pilotaje de aeromodelos. EL usuario puede elegir el modelo que más se asemeje al prototipo y se puede conectar el radio control al simulador para tener una experiencia más completa.
- Tener siempre en cuenta las condiciones óptimas de vuelo para el prototipo, factores como viento excesivo o falta de revisiones previas de todos los sistemas eléctricos pueden resultar en la destrucción total o parcial.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Gracias

