Licenciatura: Ingeniería mecánica.

Nombre del Proyecto de Integración (PI).

Planificación del movimiento en el control de un vehículo aéreo de cuatro rotores.

Modalidad: Proyecto de Investigación

Versión: Primera

Trimestre Lectivo:21P

Datos del Alumno:

Sánchez Romero Marco Antonio 2163034144
Correo electrónico: al2133036130@azc.uam.mx
Firma.

Datos del asesor

Nivel académico y Nombre completo.
Dr. Francisco Beltrán Carbajal
Departamento de adscripción.
Departamento de energía.
Teléfono.
Correo electrónico.
fbeltran.git@gmail.com
Firma.

Datos del co-asesor

Nivel académico y Nombre completo.
Dr. Hugo Yáñez Badillo
Departamento de adscripción.
Teléfono.
Correo electrónico.
yaba.hugo@gmail.com
Firma.

Fecha: 20/09/2021

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Nombre y firma del alumno, asesor(es), y en su caso del co-asesor o del jefe directo.

Sánchez Romero Marco Antonio

Dr. Francisco Beltrán Carbajal

Profesor Titular C

Dr. Hugo Yáñez Badillo

1. Introducción.

En años recientes, el interés de los investigadores por los sistemas aéreos no tripulados se ha incrementado considerablemente, lo que ha propiciado el desarrollo de nuevas configuraciones de vehículos aéreos no tripulados (UAV's, por sus siglas en inglés). El constante desarrollo tecnológico para el diseño, adquisición y procesamiento de señales, suministro de energía, manufactura, control, navegación, etc., ha beneficiado la construcción de vehículos con tamaños cada vez más compactos y capacidades de procesamiento elevadas [1].

El vehículo aéreo de cuatro rotores, conocido en la literatura como **quadrotor**, es un sistema subactuado que cuenta con seis grados de libertad (GDL) y cuatro entradas de control (actuadores independientes). Este tipo de sistemas normalmente están sometidos a incertidumbres endógenas y exógenas durante su operación, tanto en interiores como exteriores. Se enfrentan a un medio altamente cambiante, como consecuencia de velocidades de viento variables e impredecibles, así como cambios en la humedad del entorno, mientras realizan tareas predefinidas. Entre las diversas aplicaciones para estos sistemas, también clasificados como robots aéreos, destacan las siguientes: vigilancia, búsqueda y rescate, mapeo, monitoreo e inspección, filmación, adquisición de imágenes, aplicación de aerosoles agrícolas, etc., que dependen de movimientos precisos tanto en interiores como en exteriores a determina velocidad y altura. En el presente estudio se analizan y evalúan diversos esquemas de planificación de movimiento para un vehículo aéreo de cuatro rotores. El desarrollo de los diferentes esquemas se realizará en el lenguaje de programación de Python, donde se evaluará el desempeño dinámico del vehículo al ejecutar los movimientos planificados.

2. Antecedentes.

El sueño de volar. Los iniciadores habían estado volando globos y dirigibles desde 1783, pero un vuelo con algo más pesado que el aire "fue visto como la búsqueda de charlatanes", dijo Jim Tobin, autor de conquistar el aire: Los hermanos Wright y la Gran Carrera de Volar. "La idea del vuelo humano era el estándar imposible". Sin embargo, el sueño era demasiado convincente como para ignorarlo. Ya que, en 1804, el inglés George Cayley identificó tres áreas de estudio para futuras investigación: la necesidad de conseguir despegar de la tierra, la propulsión para moverse una vez en el aire, y el control para permanecer en el aire. Los primeros vuelos en toda la historia de la invención probablemente no hay sin igual en la manera ostentosa en la que los hermanos Wright, de Dayton, Ohio, que dieron paso al mundo su invención en la primera época exitosa de la máquina voladora [2].

Existen reportes de principios del año 1900 sobre algunos prototipos de helicópteros de cuatro rotores desarrollados a la par de otras configuraciones de helicópteros, con el fin de lograr el vuelo vertical mediante una máquina. Los esfuerzos por parte de la humanidad para construir un dispositivo capaz de volar verticalmente han sido registrados en diversos archivos históricos, desde el siglo XV con Leonardo da Vinci y su air-screw, Pero fue hasta principios del siglo XX que surgieron alrededor del mundo los primeros prototipos funcionales basados en alas rotatorias, los primeros helicópteros.

A principios de 1907 los hermanos Louis y Jacques Breguet en asociación con el profesor Richet, construyeron una máquina que consistía en un chasis central de tubos de acero que soportaba al piloto y al motor. Esta máquina conocida como el giro-plano BreguetRichet, fue la primera en elevarse por sí sola verticalmente con un sistema de elevación de ala rotatoria. Más tarde ese mismo año, una máquina fabricada por el francés Paul Cornu realizó el que probablemente fue el primer vuelo libre de cualquier anclaje, con una duración de 24 s. La falta de presupuesto y la inadecuada controlabilidad del helicóptero (debido a que el vehículo no pudo elevarse lo suficiente para superar lo que ahora se conoce como ground-effect), influyeron para que Cornu abandonara el desarrollo posterior de su prototipo. En 1909 Ivanovich Sikorsky otro de los principales pioneros en el diseño y construcción de los primeros prototipos de ala rotatoria construyó su primera máquina, un helicóptero del tipo coaxial con dos hélices de dos palas. Sikorsky decidió posponer más investigaciones referentes a los sistemas de ala giratoria, debido a que se enfocó en la construcción de prototipos de ala fija. Una década más tarde, el francés Etienne Oemichen realizó algunos experimentos con mecanismos de ala rotatoria. El segundo prototipo de Oemichen tenía la capacidad de sostener el vuelo por varios minutos. Pasaron algunos años antes de que se construyera otro helicóptero con cuatro rotores. Para el año 1945 se habían construidos al menos 72 helicópteros, de los cuales solamente tres eran de cuatro rotores: las máquinas de Breguet-Richet, Oemichen y de Bothezat [3].

En la actualidad existen distintos tipos de sistemas aéreos, que difieren en tamaño y en peso, impulsados por combustible o por baterías, generalmente conocidos como vehículos aéreos no tripulados o drones. Modernas aplicaciones demandan a estos vehículos la realización, con precisión de tareas de regulación de posición, seguimiento de trayectorias y navegación autónoma, lo que ha propiciado un constante desarrollo tecnológico de estos sistemas dinámicos complejos.

3. Justificación.

El interés en el estudio de los vehículos aéreos no tripulados se ha incrementado en los últimos años. Una de las principales plataformas en la que se han enfocado diversas investigaciones es el helicóptero con cuatro rotores comúnmente llamado quadrotor. Este tiene la capacidad de aterrizar y despegar verticalmente (VTOL, por sus siglas en inglés) característica que permite su operación en interiores de manera segura, tarea complicada para otro tipo de UAV's como los de ala fija.

Las aplicaciones donde se utilizan estos vehículos, como la vigilancia, inspección y monitoreo, se requiere de eficientes algoritmos de control de movimiento, que le permitan realizar movimientos planificados en el espacio tridimensional. Diversas trayectorias de referencia, rutas geométricas y algoritmos de planificación de rutas, se han utilizado principalmente en los quadrotors con dos objetivos: el primero de ellos es evaluar el desempeño de algoritmos de control automático y para la navegación entre dos o más puntos previamente definidos. Por esta razón, en el presente trabajo se analizan y se evalúan diversos esquemas de planificación de movimiento basados en el uso de ecuaciones paramétricas y polinomios de interpolación, que permitirán la evaluación posterior de

diferentes algoritmos de control automático, diseñados para el control de movimiento de vehículos aéreos de cuatro rotores.

4. Objetivos.

Objetivo general:

Planificar el movimiento de un vehículo aéreo de cuatro rotores mediante diferentes perfiles de movimiento.

Objetivos particulares:

- Describir al menos tres perfiles de movimiento utilizados en vehículos aéreos no tripulados y robótica móvil.
- Construir un modelo de simulación mediante las ecuaciones dinámicas del sistema y el lenguaje de programación Python, para la evaluación de los esquemas de planificación de movimiento.
- Evaluar el desempeño del vehículo aéreo utilizando los esquemas de planificación del movimiento propuestos y una técnica de control automático del tipo proporcional, integral y derivativa (PID).

5. Metodología.

Fase 1. Investigación sobre la planificación del movimiento para un vehículo aéreo no tripulado.

Con base en la bibliografía, en esta etapa se identificarán y documentarán los diversos esquemas de planificación de movimiento utilizados en vehículos aéreos no tripulados y robótica móvil.

Fase 2. Desarrollo de un modelo de simulación.

En esta etapa se construirá un modelo de simulación mediante el lenguaje de programación de Python. En el modelo de simulación se programarán las ecuaciones que describen el comportamiento dinámico de un quadrotor, las cuales se resolverán mediante métodos numéricos; leyes de control, para que el vehículo se mueva adecuadamente; y los esquemas de planificación de movimiento, que determinarán de qué manera el vehículo ejecuta los movimientos.

Fase 3. Evaluación de los esquemas de planificación del movimiento.

En esta etapa utilizará un controlador Proporcional, Integral y Derivativo (PID) para llevar a cabo tareas de regulación y seguimiento de trayectorias acorde con los esquemas de planificación de movimiento propuestos para el vehículo aéreo de cuatro rotores.

Fase 4. Análisis de resultados.

Se compararán los resultados obtenidos mediante el modelo de simulación. Se realizarán propuestas de mejoras para los esquemas de planificación implementados.

Fase 5. Cierre de proyecto.

En esta etapa del proyecto se reportarán los principales resultados obtenidos. Además, se tendrá disponible el modelo de simulación para futuras investigaciones. Finalmente, se enlistarán las principales contribuciones del trabajo de investigación, así como las conclusiones generales.

6. Normatividad.

NOM-107-SCT3-2019. Establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (rpas) en el espacio aéreo mexicano [4].

NOM-003-SCT3-2010. Que establece el uso dentro del espacio aéreo mexicano, del transpondedor para aeronaves, así como los criterios para su instalación, especificaciones y procedimientos de operación [5].

NOM-022-SCT3-2011. Que establece el uso de registradores de vuelo instalados en aeronaves que operen en el espacio aéreo mexicano, así como sus características [6].

7. Cronograma de actividades.

UEA para la que se solicita autorización:

Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

Actividad	Semana										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.1 Investigar, analizar diferentes esquemas de planificación de movimiento utilizados en vehículos aéreos no tripulados y robótica móvil.											
1.2 Seleccionar y proponer al menos tres esquemas de planificación de movimiento para un vehículo aéreo de cuatro rotores.											
2.1 Programar un método numérico en Python para la solución de las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento dinámico del sistema.											
2.2 Programar en Python los esquemas de planificación del movimiento.											
2.3 Programar un esquema de control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) para que el vehículo aéreo pueda moverse de acuerdo con los esquemas de planificación propuestos.											

2.4 Integrar un modelo de simulación mediante el lenguaje de programación de Python para la evaluación de los esquemas de planificación del movimiento.											
3.1 Evaluar el desempeño del quadrotor en tareas de regulación y seguimiento de trayectorias, determinadas por los esquemas de planificación del movimiento, utilizando el controlador Proporcional, Integral y Derivativo (PID).											
3.2 Realizar ajustes para mejorar los esquemas de planificación propuestos en base a un análisis de los resultados obtenidos.											
3.3 Organizar y reportar en un manuscrito formal toda la información obtenida durante cada una de las actividades.											
3.4 Integrar formalmente el reporte de los resultados, los principales aportes y las conclusiones derivadas de este proyecto.											
3.5 Entrega del reporte final del proyecto.											

8. Entregables.

Reporte final del proyecto de integración.

Al finalizar este proyecto se entregará un reporte escrito donde se documentarán los resultados obtenidos durante la investigación y sus principales contribuciones.

Modelo de simulación

Se tendrá disponible el modelo de simulación para futuras investigaciones.

Nota: El tiempo que se llevará el proyecto de investigación es de un trimestre, dadas las condiciones sanitarias presentes por la pandemia debido al COVID-19, toda la investigación será vía remota.

9. Referencias bibliográficas.

[1] Chimal, E. J. C., y Concha, G. P. D., 2016, *Advances in Computer Science and Artificial Intelligence,* Series*,* México.

[2] Antonio, J. R. M. R., y Manuel, R. H., Francisco, B. R., 2016, “Ingeniería y Tecnologías”, Difu100ci@, Vol. 10, no. 1, pp 8.

[3] Yáñez, B. H., 2020, “Control Robusto para el Movimiento de un Vehículo Aéreo de Cuatro Rotores”, Universidad Politécnica De Tulancingo, Departamento De Posgrado.

[4] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2019, “NOM-107-SCT3-2019”, https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAC-archivo/modulo2/nom-107-sct3-2019-201119.pdf.

[5] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2010, “NOM-003-SCT3-2010”, http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4661/SCT/SCT.htm**.**

[6] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2011, “NOM-022-SCT3-2011”, http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4642/sct/sct.htm.

10. Terminología.

No es necesaria.

11. Infraestructura.

No aplica.

12. Asesoría complementaria.

No aplica.

13. Publicación o difusión de los resultados.

No aplica.