

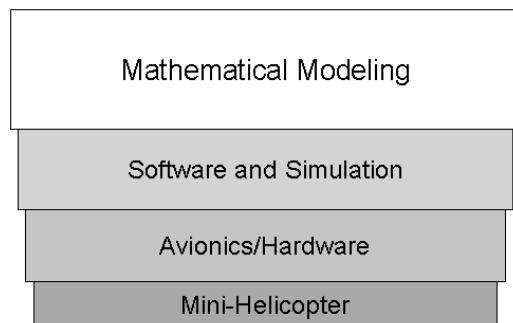
Historia del trabajo de investigación realizado en UAV en la Universidad EAFIT (2003-2014)

Por Carlos M. Vélez S., cmvelez@eafit.edu.co

En 2003 se presentó a Colciencias una propuesta para el "Diseño, implementación y prueba de un sistema de control y navegación para un minihelicóptero robot (Colibrí)" entre las universidades EAFIT (modelado, simulación, estimación y control; Carlos M. Vélez S., Jorge Andrés Álvarez), UPB (aviónica, integración y pruebas; Luis Benigno Gutiérrez), y de Medellín (comunicaciones; Jairo Vergara), y las empresas Ingeniería Avanzada (operación de vuelo; Federico Hinestrosa) e Industrial Aeronáutica (asesoría; Daniel Restrepo y Nicolás Ariza). Durante la ejecución del proyecto, solo EAFIT e Ingeniería Avanzada cumplieron con sus tareas y fue necesario asumir los compromisos de los demás con estudiantes de posgrado (Jorge Andrés Álvarez) y pregrado. El objetivo general del proyecto fue "Aplicar métodos eficientes y eficaces de modelado matemático teórico y experimental, métodos de control convencional y no convencional, métodos informáticos y tecnología en las áreas de hardware, telemática y comunicaciones, para permitir el vuelo estacionario autónomo de un mini-helicóptero".



Colibrí



Fortalezas del grupo de investigación de la Universidad EAFIT en el proyecto Colibrí (énfasis en el modelado matemático, la simulación y el desarrollo de software)

El proyecto se realizó entre agosto de 2003 y julio de 2006. Al final, se diseñó e implementó un sistema de control y navegación para un mini-helicóptero robot, el cual se validó solo en simulaciones en tiempo real con el software y el hardware reales: simulaciones "software-in-the-loop" y "hardware-in-the-loop". La caja de aviónica se validó, además, con pruebas de vuelo. Federico Hinestrosa participó activamente y jugó un papel fundamental en la planeación y ejecución de las pruebas de vuelo, obtención de los requerimientos de diseño

y asistencia al proceso de modelado y validación. Se cumplieron con éxito la mayoría de metas planteadas: adquisición y adecuación para el país de la tecnología en muchas áreas relacionadas con el vuelo autónomo de vehículos, aplicación de un método eficiente y eficaz de modelado matemático y simulación, construcción de un entorno eficiente para el prototipado rápido de software, desarrollo de algoritmos de control con muestreo convencional y no convencional, implementación de un algoritmo de navegación, desarrollo de un banco de pruebas y una caja de aviónica completamente funcionales, formación de recurso humano, contactos nacionales e internacionales, integración universidad-empresa, red con soporte en una página Web y repositorio, publicaciones nacionales e internacionales, apertura de otros retos. El vuelo autónomo no se logró debido a la necesidad de más tiempo para las pruebas, a problemas de vibraciones y a la complejidad del proyecto, lo que exigió más tiempo del presupuestado para la solución de otros subproblemas. El principal resultado es un entorno de prototipado rápido de software basado en Matlab/Simulink que incluye módulos elaborados por el grupo (modelo de simulación, control, filtro de navegación, Colibrí QNX Target) y módulos basados en herramientas del Matlab (linealización, análisis, simulación, estación de tierra, realidad virtual, identificación, estimación heurística de parámetros). El entorno se integra con el hardware y permite pasar rápidamente del diseño a la implementación, con lo cual los esfuerzos se pueden concentrar en los métodos matemáticos y algorítmicos y se acorta considerablemente la curva de aprendizaje. La generación automática de código para el sistema operativo QNX y la transferencia del código al computador de abordo se realiza utilizando Real-Time Workshop (RTW) y el Colibrí QNX Target, un programa desarrollado por el grupo. En general, el entorno permite ajustar el modelo, interactuar con él en tiempo real por medio de un joystick, visualizar los resultados en una cabina virtual reconfigurable y con un modelo virtual del vehículo, linealizar el modelo para cualquier punto de operación, diseñar diversos métodos de control, introducir un filtro para la navegación, generar el código para el sistema operativo QNX y transferirlo al computador de abordo, establecer una comunicación, realizar una supervisión desde tierra del mini-helicóptero y enviarle órdenes.

A partir de agosto de 2006 y hasta 2010 solo la Universidad EAFIT e Ingeniería Avanzada continuaron con el proyecto del minihelicóptero en varias etapas, donde en colaboración con estudiantes de posgrado se obtuvieron varios resultados en aspectos del modelado, simulación, estimación y control, principalmente, y avances en temas de aviónica, mecánica y comunicaciones, pero sin lograr un vuelo autónomo decisivo y documentable, siempre por deficiencia de competencias en electrónica y mecánica. El principal resultado fue la apropiación de conocimiento y los desarrollos notables en teoría y software. Igual que en el período anterior, Federico Hinestrosa participó activamente y jugó un papel fundamental en la planeación y ejecución de las pruebas de vuelo, obtención de los requerimientos de diseño y asistencia al proceso de modelado y validación, además del trazado de objetivos a media y largo plazo para la aplicación comercial de los desarrollos obtenidos. Los proyectos realizados en el período 2006-2 y 2010 fueron los siguientes:

1. Plataforma de prototipado rápido basado en Matlab/Simulink para el control en tiempo real de un mini-helicóptero robot – COLIBRÍ. Financiación de EAFIT, 2006-2
2. Estimación del estado para el control de un mini-helicóptero robot – COLIBRÍ. Financiación de EAFIT, 2007
3. Identificación y control de un mini-helicóptero robot para el vuelo recto y nivelado – COLIBRÍ II. Financiación de EAFIT, 2008
4. Control multifrecuencia de un mini-helicóptero robot. Financiación de EAFIT, 2009
5. Simulación hardware-in-the-loop de un mini-helicóptero robot. Financiación de EAFIT, 2010

El proyecto se suspendió durante el 2011 y se retomó en el 2012 con una orientación hacia la creación de una empresa de base tecnológica (spin-off), con el apoyo y asesoría del CICE (Centro para la Innovación, Consultoría y Empresariado), por intermedio principalmente de Lady Giraldo O., y la participación de la empresa Ingeniería Avanzada Consultores de Federico Hinestrosa U. Se configuró la spin-off Ingeniería Avanzada Consultores – EAFIT (FlyingWorks UAS) y sus servicios con ayuda de tres proyectos internos y recursos del CICE:

1. Exploración para la construcción de una aeronave autónoma de ala fija (Guamán), 2012
2. Modelado matemático y simulación de un UAV tipo ala volante, 2013
3. Estimación de parámetros de un UAV tipo ala volante, 2014

Con los recursos obtenidos se adquirieron en el 2013 los equipos y software necesarios para la integración de un UAV autónomo tipo ala volante (Guamán), el cual serviría como principal producto para la oferta comercial de servicios en UAV. El estudio y selección del sistema UAS fue liderado por Federico Hinestrosa. Se registró en el 2012 la spin-off y se diseñó durante el 2012 y 2013 el plan de negocios y la hoja de ruta tecnológica de la nueva empresa. Se construyó en el 2013 un completo y moderno laboratorio de UAS (diseñado por Federico Hinestrosa) en la sede de EAFIT Llanogrande y durante el 2014 se realizaron pruebas exitosas entre enero y abril, las cuales incluían vuelos autónomos a altura de 3000 metros y a distancia de casi 5 kilómetros de la estación de tierra. Los vuelos fueron planificados y ejecutados por Federico Hinestrosa con apoyo de todo el grupo de investigación. En abril del 2014 el avión se estrelló, lo cual, junto con las dificultades para su reconstrucción y las limitaciones en temas de electrónica, mecánica y comunicaciones, llevó al cierre de la spin-off y entrega, a principios del 2015, de los equipos y el laboratorio al grupo de Electromagnetismo Aplicado, liderado por el profesor José Ignacio Marulanda B.

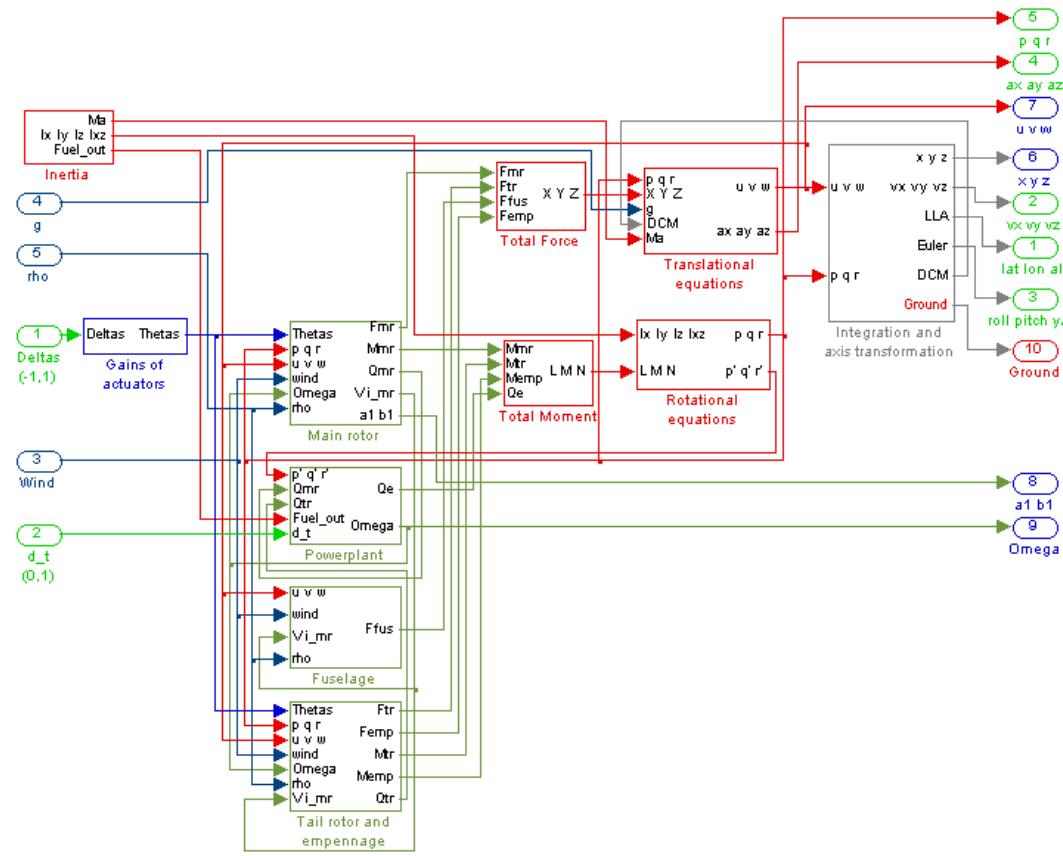


Guamán

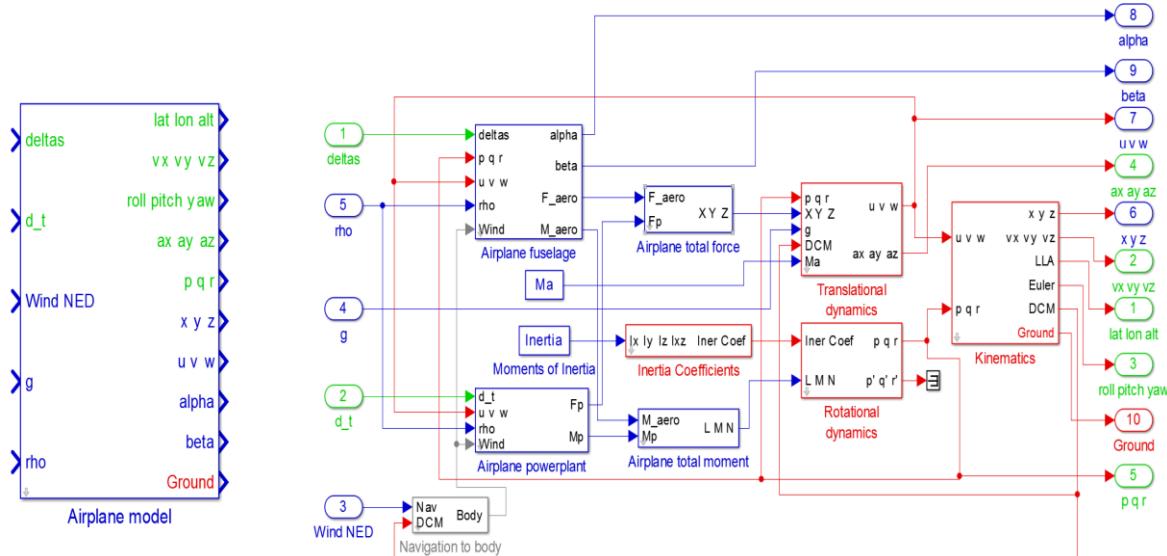
Los principales resultados del proyecto en UAV (con soportes), y el reconocimiento al trabajo investigativo de profesores y estudiantes, se plasma en el siguiente listado cronológico:

1. Vélez C. M., Agudelo A. Multirate control of an unmanned aerial vehicle. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, ISSN 11092734, Vol. 4, No.11, pp 1628-1634, 2005.
2. Sánchez E. N., Becerra H.M., Vélez C. M. Combining fuzzy and PID control for an unmanned helicopter. *The 2005 North American Fuzzy Information Processing Society Annual Conference*, Ann Arbor, Michigan, USA, ISBN 0780391888, pp 235-240, June 26-28, 2005.
3. Álvarez J. Diseño y simulación de un control multifrecuencia de actitud en un mini-helicóptero Robot. Maestría en Matemáticas Aplicadas. Noviembre de 2005
4. Becerra H. M. Control Inteligente Híbrido de un Mini-helicóptero Autónomo. Maestría en Ciencias. CINVESTAV, México. Directores: Édgar N. Sánchez C. y Carlos M. Vélez S. Septiembre de 2005
5. Vélez C. M., Agudelo A. Control and Parameter Estimation of a Mini-Helicopter Robot Using Rapid Prototyping Tools. *WSEAS Trans. on Systems*, Vol. 5, No. 9, pp 2250-2256, 2006
6. Vélez C. M., Agudelo A., Álvarez J. Modeling, Simulation and Rapid Prototyping of an Unmanned Mini-Helicopter. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*, ISBN 1563477947, Paper Number AIAA-2006-6737, Keystone, Colorado, 21 – 24 Aug, 2006
7. Hernán Darío Restrepo C. Sistema de simulación software-in-the-loop para un mini-helicóptero robot. Noviembre de 2006. Trabajo de grado de Ingeniería de Sistemas (EAFIT).
8. Vélez C. M., Agudelo A. Colibrí: A rapid prototyping methodology for the control of unmanned aerial vehicles. *First Latin American Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Conference*, Panamá, August 14-16, 2007
9. Sánchez E. N., Becerra H.M., Vélez C. M. Combining fuzzy, PID and regulation control for an autonomous mini-helicopter. *Information Sciences*, ISSN 00200255, Vol. 177, No. 10, pp 1999-2022, 2007
10. Grupo de investigación. Premio anual de investigación EAFIT 2007

11. Vélez C. M., Agudelo A., Martínez J. E. Desarrollo y prueba de un vehículo aéreo no tripulado autónomo – Colibrí. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática (ACA), ISBN 9789584408051, Cali, 21 al 23 de marzo, 2007
12. Ramírez J. J., Vélez C. M. Identificación de parámetros de un mini-helicóptero robot usando métodos de optimización. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática (ACA), ISBN 9789584408051, Cali, 21 al 23 de marzo, 2007
13. Álvarez D. A., Vélez C. M. Identificación de parámetros de un mini-helicóptero robot usando el método heurístico de búsqueda tabú. VII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática (ACA), ISBN 9789584408051, Cali, 21 al 23 de marzo, 2007
14. Diego Álvarez. Identificación de parámetros de un mini-helicóptero robot usando el método heurístico de búsqueda tabú – Parte 1. Junio de 2007. Ingeniería Matemática.
15. Agudelo A., Vélez C. M. Trajectory Smoothing for a Small Autonomous Helicopter: Colibrí. Panamá, Second Latin American Unmanned Vehicles/Systems (UV/S) Conference/Workshop, ISBN 978-987-24592-0-8, Panamá, August 5-7, 2008.
16. Agudelo A. Trajectory Smoothing and Transition Management for a Small Autonomous Helicopter. Maestría en Matemáticas Aplicadas. Julio de 2008
17. Juan David Ríos. Diseño y simulación virtual de una interfaz de telecontrol para un mini-helicóptero mediante Matlab-Simulink. Noviembre de 2008. Ingeniería Física.
18. Diego Álvarez. Identificación de parámetros de un mini-helicóptero robot usando el método heurístico de búsqueda tabú – Parte 2. Junio de 2008. Ingeniería Matemática.
19. Óscar Londoño. Estimación paramétrica del modelo de un mini-helicóptero robot usando un algoritmo genético y Matlab-Simulink. Junio de 2008. Ingeniería Matemática.
20. Leyton H. Desarrollo, implementación y prueba de un filtro de Kalman del tipo UKF para un vehículo aéreo no tripulado. Maestría en Matemáticas Aplicadas. Mayo de 2009.
21. Londoño O., Vélez C. M. Identificación del modelo de un mini-helicóptero robot usando algoritmos genéticos. VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Automática (ACA), ISBN 9789588387239, Cartagena, 2 y 3 de abril, 2009
22. Vélez C. M., Hernández M., Agudelo A. Avionics system for a mini-helicopter robot in a rapid software prototyping environment. Bogotá, IEEE Andescon 2010, ISBN 978-1-4244-6741-9, September 15-17, 2010.
23. Agudelo-Toro A. Y., Vélez C. M. Transition Management for the Smooth Flight of a Small Autonomous Helicopter. Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol. 58, No. 1, pp 69-94, 2010
24. José Luis Franco M. Implementación de un controlador robusto en un mini-helicóptero robot. Diciembre de 2010. Ingeniería Matemática.
25. David Ortiz P. Una aproximación al modelado matemático y simulación de un UAV tipo ala voladora. Noviembre de 2012. Ingeniería Matemática
26. Zambrano J. Control Difuso Aplicado a un Vehículo Aéreo no Tripulado. Maestría en Matemáticas Aplicadas. Noviembre de 2012.
27. Vélez S., Carlos M.; Hinestrosa U., Federico; Giraldo O., Lady J. Spin-off Ingeniería Avanzada Consultores – EAFIT (FlyingWorks UAS). NIT: 0900545088-1. Fecha de registro: 13 de agosto de 2012
28. David Ortiz P. Estimación de parámetros de un avión tipo ala voladora. Junio de 2013. Ingeniería Matemática.
29. Benjumea J. A. Estimación de parámetros de un UAV tipo ala volante mediante algoritmos metaheurísticos. Maestría en Ingeniería. Noviembre de 2014.
30. Damián Castro. Estudio de la arquitectura de un piloto automático para UAV. Junio de 2014. Ingeniería Física.
31. Sebastián Montoya. Diseño y simulación de un modelo de control para un ala volante. Junio de 2014. Ingeniería Física.
32. Vélez S., Carlos M.; Hinestrosa U., Federico Ala volante autónoma (Guamán). 2014
33. Vélez S., Carlos M.; Hinestrosa U., Federico; Giraldo O., Lady J. Laboratorio de UAS en la sede de EAFIT Llanogrande.
34. Vélez S., Carlos M.; Agudelo, Andrés; Benjumea, Alejandro; estudiantes. UAS Toolbox. 2004-2014.



Modelo de simulación de un minihelicóptero



Modelo de simulación de un ala volante

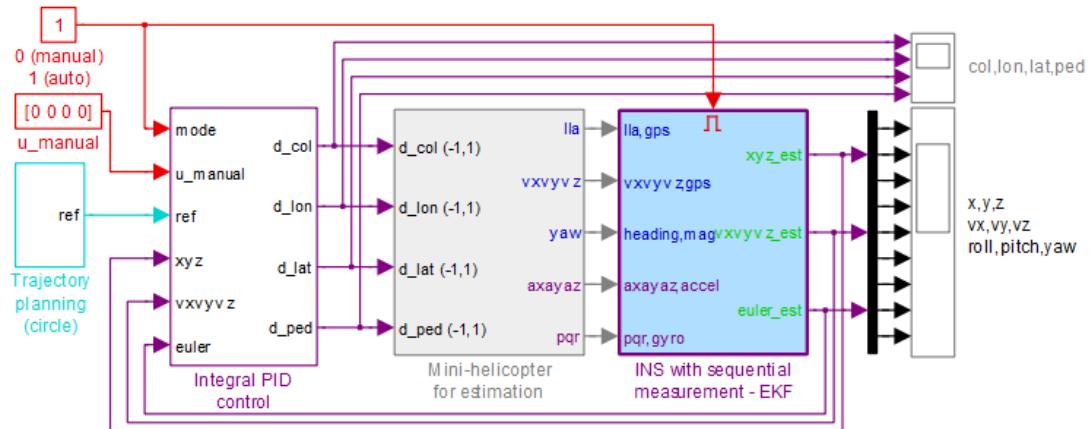
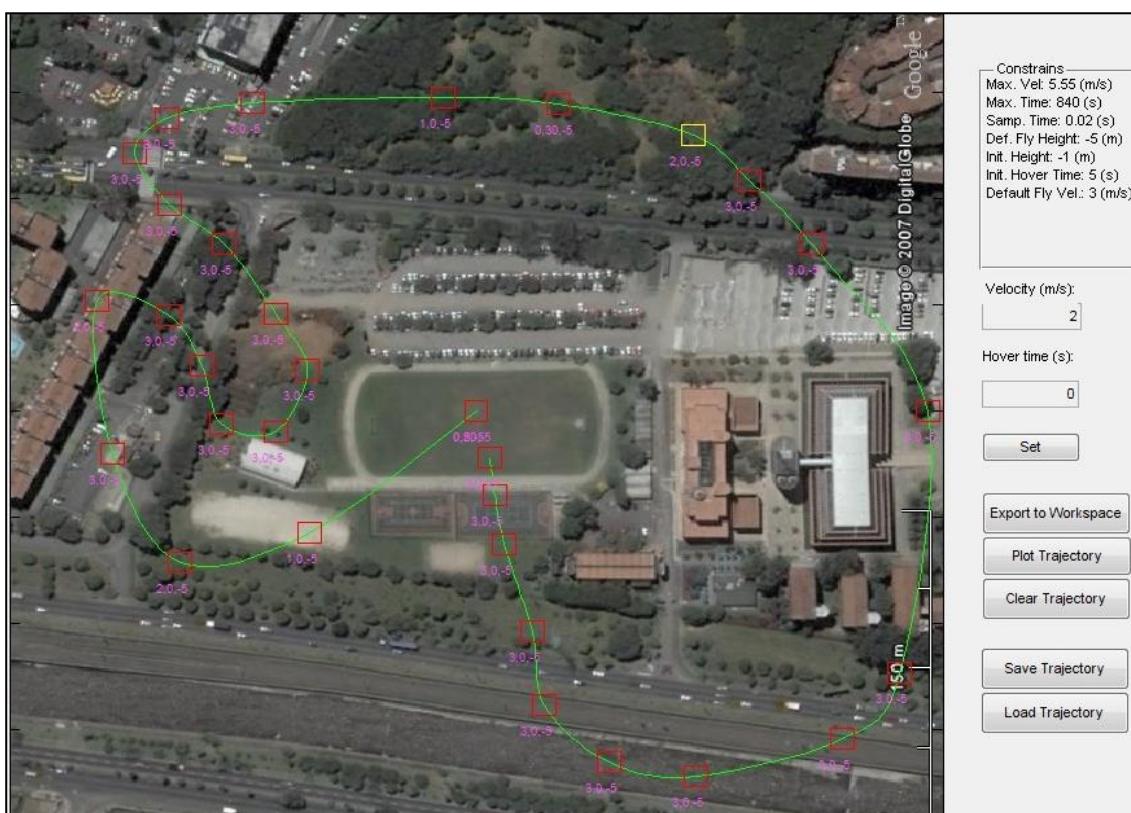


Diagrama de simulación del control y estimación del estado de un minihelicóptero



Planificador de trayectorias



Interfaz gráfica para el monitoreo y planificación de la misión

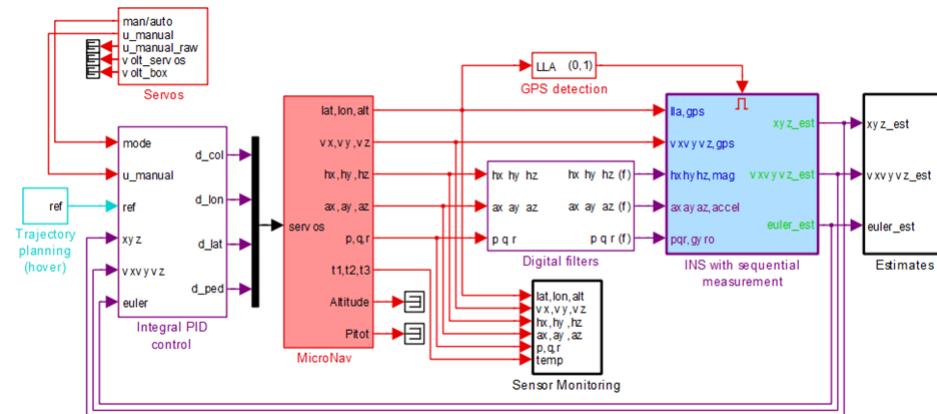
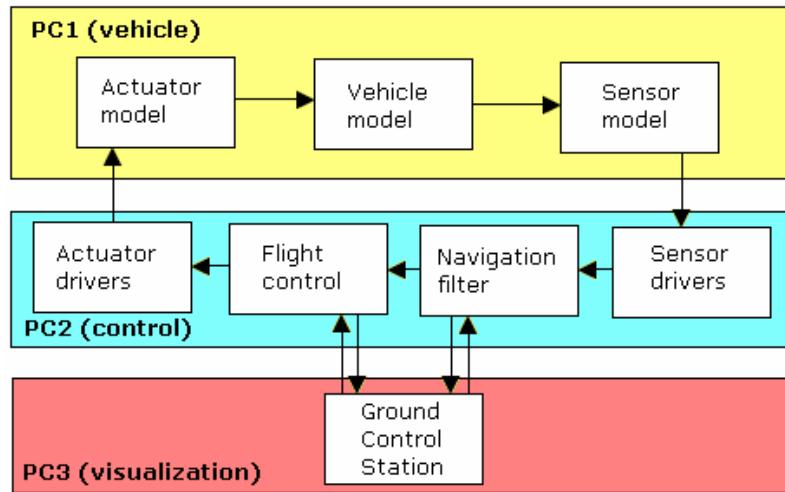
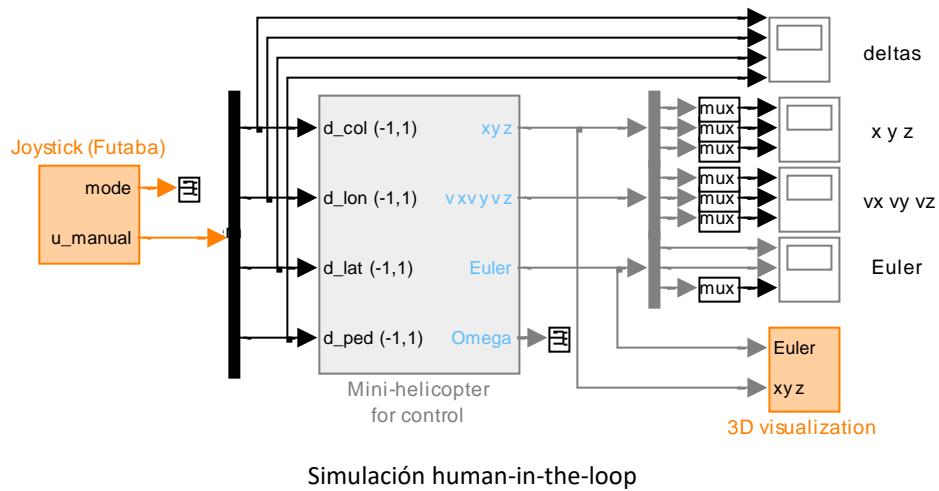


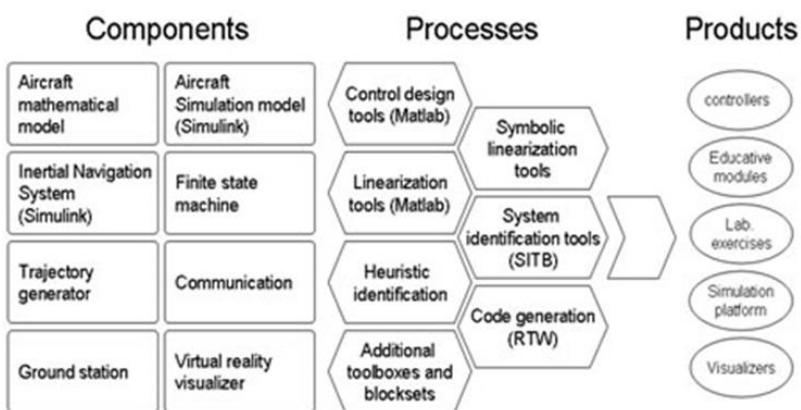
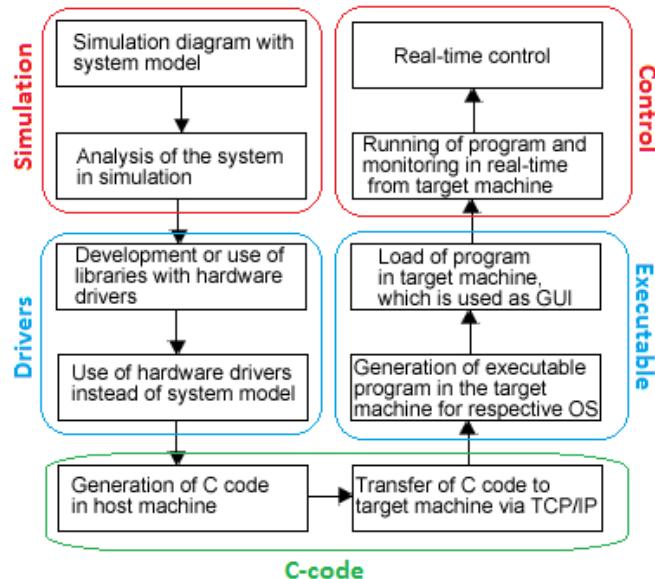
Diagrama de control en tiempo real desde Matlab/Simulink bajo el enfoque del prototipado rápido de software



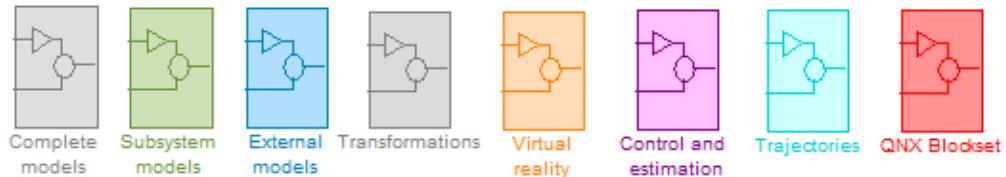
Simulación software-in-the-loop



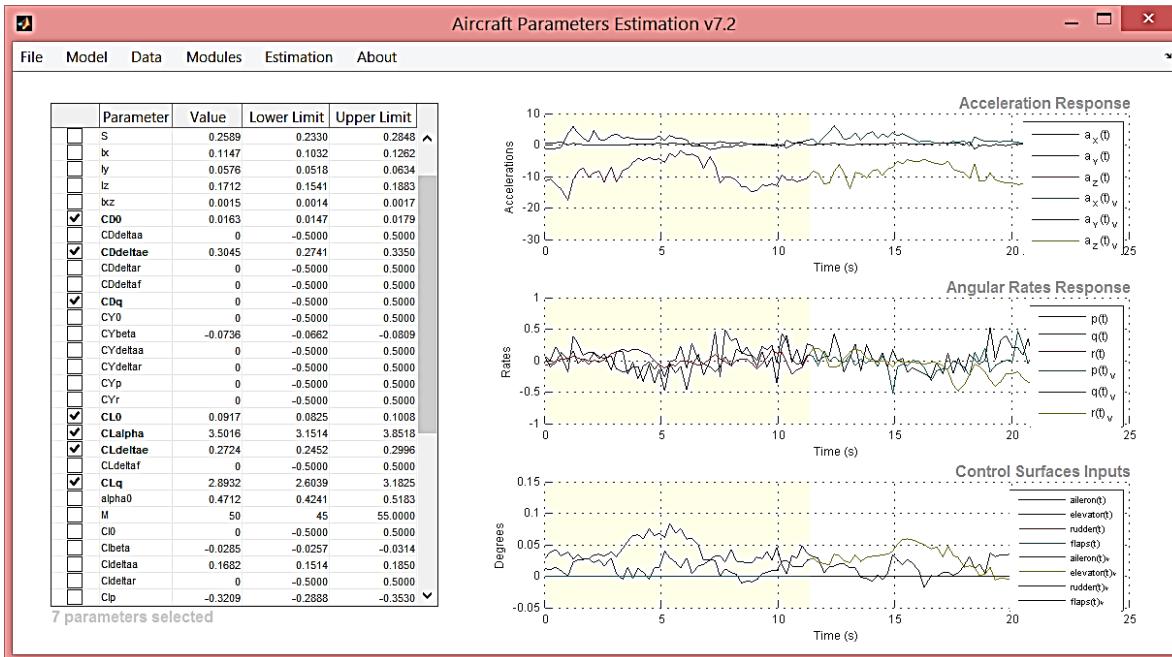
Simulación human-in-the-loop



Enfoque de prototipado rápido de software



UAS Toolbox



Interfaz gráfica en Matlab para la estimación de parámetros de una aeronave con un algoritmo genético