



SISTEMAS NO TRIPULADOS

IV IEEE Colombian Workshop on Robotics and
Automation

13 de agosto de 2008

Luis Benigno Gutiérrez Zea, MSc, PhD
Director Grupo de Automática y Diseño A+D
Escuela de Ingenierías
Universidad Pontificia Bolivariana
Email: lbgutie@ieee.org

CONTENIDO

- Sistemas no tripulados
- Clases de sistemas no tripulados
- Antecedentes en la UPB
- Grupo de trabajo
- Proyectos de sistemas subacuáticos no tripulados
 - VISOR
 - VISOR 2
 - ROV
- Proyectos de sistemas aéreos no tripulados
 - GTmax
 - Colibrí
 - AURA
 - AURA jr
- Proyectos de sistemas terrestres no tripulados
 - UGV
 - Minibaja SAE
- Conclusiones

SISTEMAS NO TRIPULADOS

- Los sistemas no tripulados son vehículos robóticos con cierto grado de automatismo, autonomía o inteligencia, que permiten explorar o desarrollar diversas tareas de interacción con el medio sin requerir la presencia de un operador humano.
- Suelen llamarse vehículos no tripulados, pero dada su complejidad y la cantidad de componentes que incluyen se consideran sistemas.

SISTEMAS NO TRIPULADOS

En el desarrollo de los sistemas no tripulados confluyen muchas tecnologías:

- Teoría de control, automatización y robótica
- Procesamiento digital de señales e imágenes
- Inteligencia y visión artificial
- Dinámica, dinámica de fluidos (aerodinámica, hidrodinámica), estructuras, FEA, CFD
- Diseño mecánico CAD, CAE, CAM
- Ciencia de los materiales
- Instrumentación y sensórica
- Sistemas electrónicos
- Sistemas embebidos de tiempo real
- Software de tiempo real
- Sistemas de comunicaciones

SISTEMAS NO TRIPULADOS

Aplicaciones

- Exploración de ambientes desconocidos
- Reconocimiento
- Búsqueda
- Prevención de desastres
- Investigaciones ambientales
- Tareas en ambientes peligrosos
- Inspección y mantenimiento de infraestructura
- Aplicaciones militares

CLASES DE SISTEMAS NO TRIPULADOS

Sistemas aéreos no tripulados

- UAS (Unmanned Aerial System) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o RPV (Remotely Piloted Vehicle)

Sistemas terrestres no tripulados

- UGV (Unmanned Ground Vehicle)

Sistemas subacuáticos no tripulados

- UUV (Unmanned Underwater Vehicle) o ROV (Remotely Operated Vehicle)

Sistemas espaciales no tripulados

- USV (Unmanned Space Vehicle)

ANTECEDENTES EN LA UPB

- Desde 1993 se trabaja con vehículos subacuáticos no tripulados: VISOR (1993-1996), VISOR 2 (1997-2000), ROV en conjunto con la ENAP (2006-2008).
- Proyectos relacionados con UAVs (2000-2008):
 - Doctorado en Georgia Tech (Luis B. Gutiérrez), “Adaptive mode transition control architecture with an application to unmanned aerial vehicles” (2000-2004)
 - Maestría en RMIT (Omar Hazbón), “Preliminary design of a low cost surveillance UAV” (2003-2004)
 - Participación en la primera fase del proyecto Colibrí (EAFIT - UPB -U de M) (2004-2006)
 - Proyecto “Investigación y diseño de un sistema automático de inspección remota para líneas de transmisión de energía eléctrica” (2004-2005)
 - Proyecto “Desarrollo de un sistema aéreo no tripulado para misiones de rango corto” (2007-2008)
- Proyecto de UGV (2007-2008)
 - “Investigación preliminar de un vehículo terrestre no tripulado”
 - Proyecto minibaja SAE (2007-2008)

GRUPO DE TRABAJO

Grupo de Automática y Diseño A+D



PROYECTOS DE SISTEMAS SUBACUÁTICOS NO TRIPULADOS

ALGUNOS ROVs

- TRABAJO PESADO
 - Grandes tamaños y potencias
 - Grandes profundidades
- OBSERVACIÓN (uso general)
 - Menores tamaños
 - Van a lugares donde los de trabajo pesado no pueden
- MINI-MICRO ROVS
 - Tamaño y peso mínimo (alrededor de 3 kg y 15 kg)



- Vehículo para la Investigación Subacuática Operado Remotamente
- Surgió de una iniciativa planteada a la UPB por el Dr Jorge Reynolds en 1993
- Desarrollado entre 1994 y 1996
- Se desarrolló un ROV (Remotely Operated Vehicle) para operar hasta 50m de profundidad.
- Con cordón umbilical
- Diseño mecánico rudimentario: estructura multi casco, recipientes estancos elaborados con tubos de PVC y accesorios
- Se desarrollaron pasacascos
- Cámara envía señal de video a través de cable coaxial en el cordón umbilical
- Control remoto usando joystick, sin instrumentación adicional

VISOR 2

- Se consiguió el apoyo para construir un UUV (Unmanned Underwater Vehicle) mas avanzado,

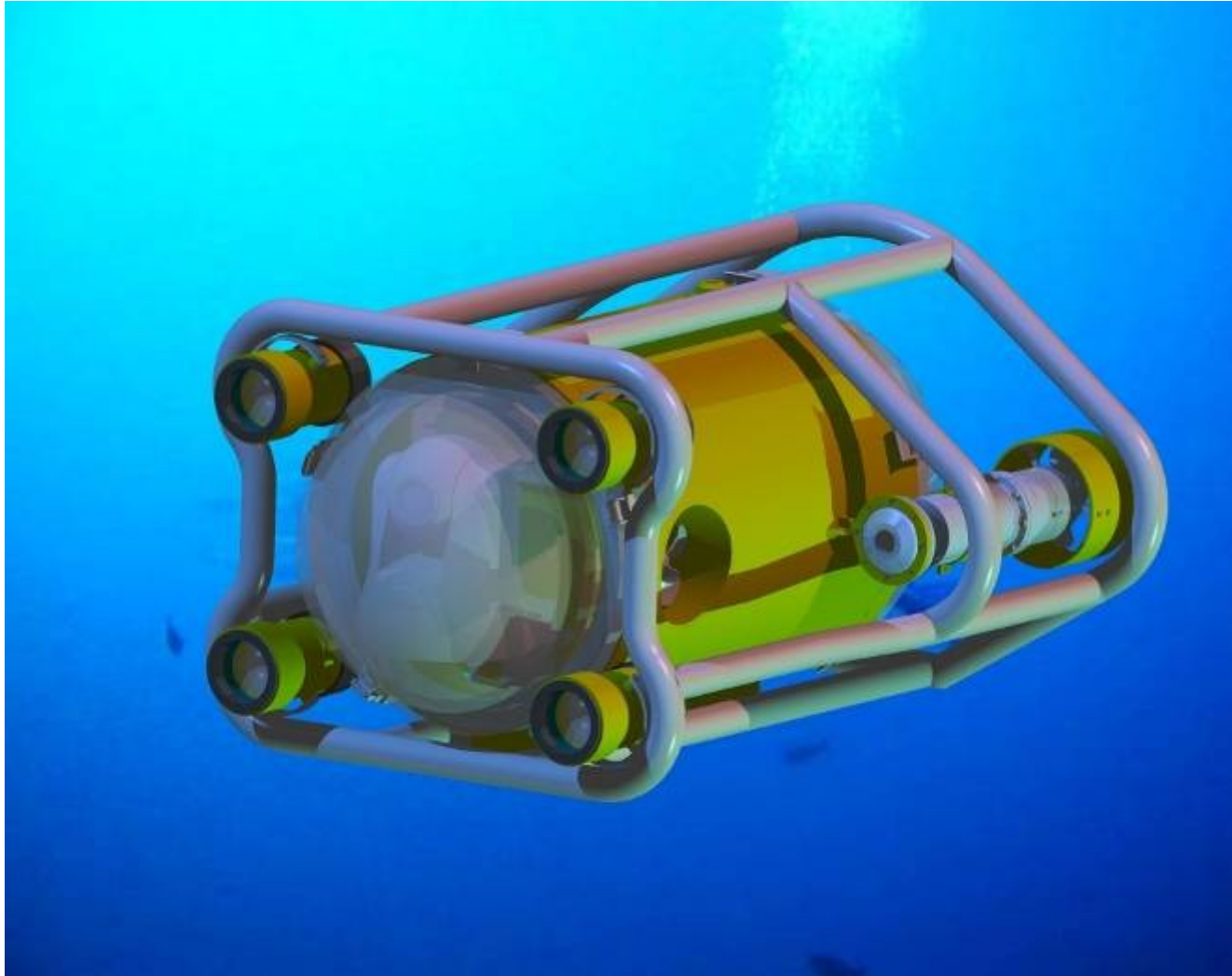


Características:

- Estructura monocasco en fibra de vidrio/carbono con propulsores desarrollados en acero inoxidable
- Profundidad máxima 100m
- Forma hidrodinámica
- Se desarrolló sistema de sellos dinámicos, estáticos y pasacascos
- Autonomía con baterías: operación dual autónomo y vía cable
- Instrumentos: compás electrónico, sensor de inclinación, sensor de presión (profundidad)
- Cordón umbilical hecho a medida con fibra óptica para señal de video
- Control rudimentario de navegación proporcionando comandos de velocidad con un joystick

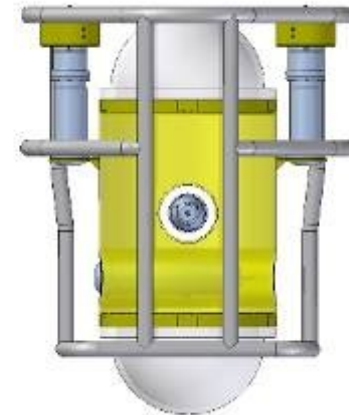
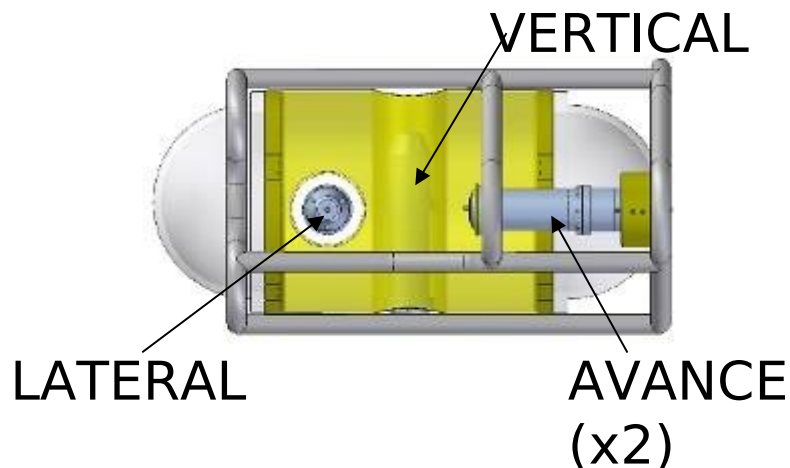
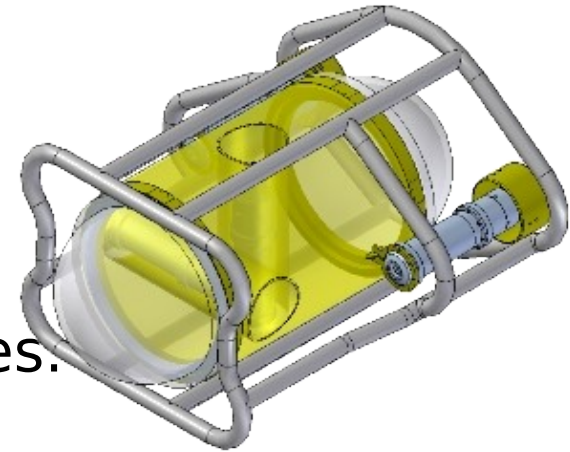
- Proyecto: “Desarrollo de un vehículo subacuático operado remotamente ROV, para investigación subacuática”
- Proyecto desarrollado por la UPB con el apoyo de la Escuela Naval Almirante Padilla y el patrocinio de Colciencias
- Se busca desarrollar un ROV para inspeccionar las estructuras portuarias y los cascos de los buques

ROV



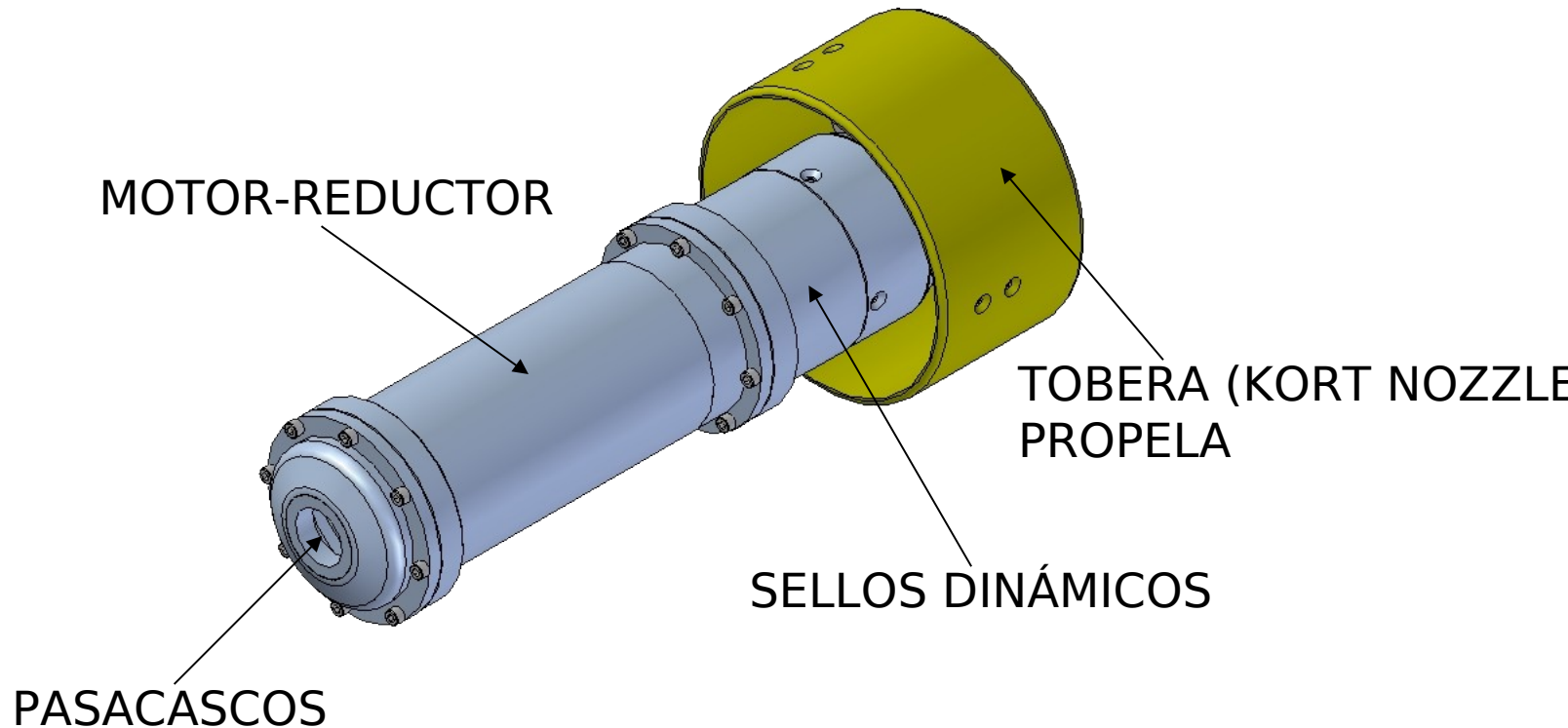
ROV: estructura

- PROPULSIÓN (GENERAL)
 - Cantidad de propulsores: 4
 - Vertical (1)
 - Lateral (1)
 - Avance (2)
 - Configuración de propulsores.



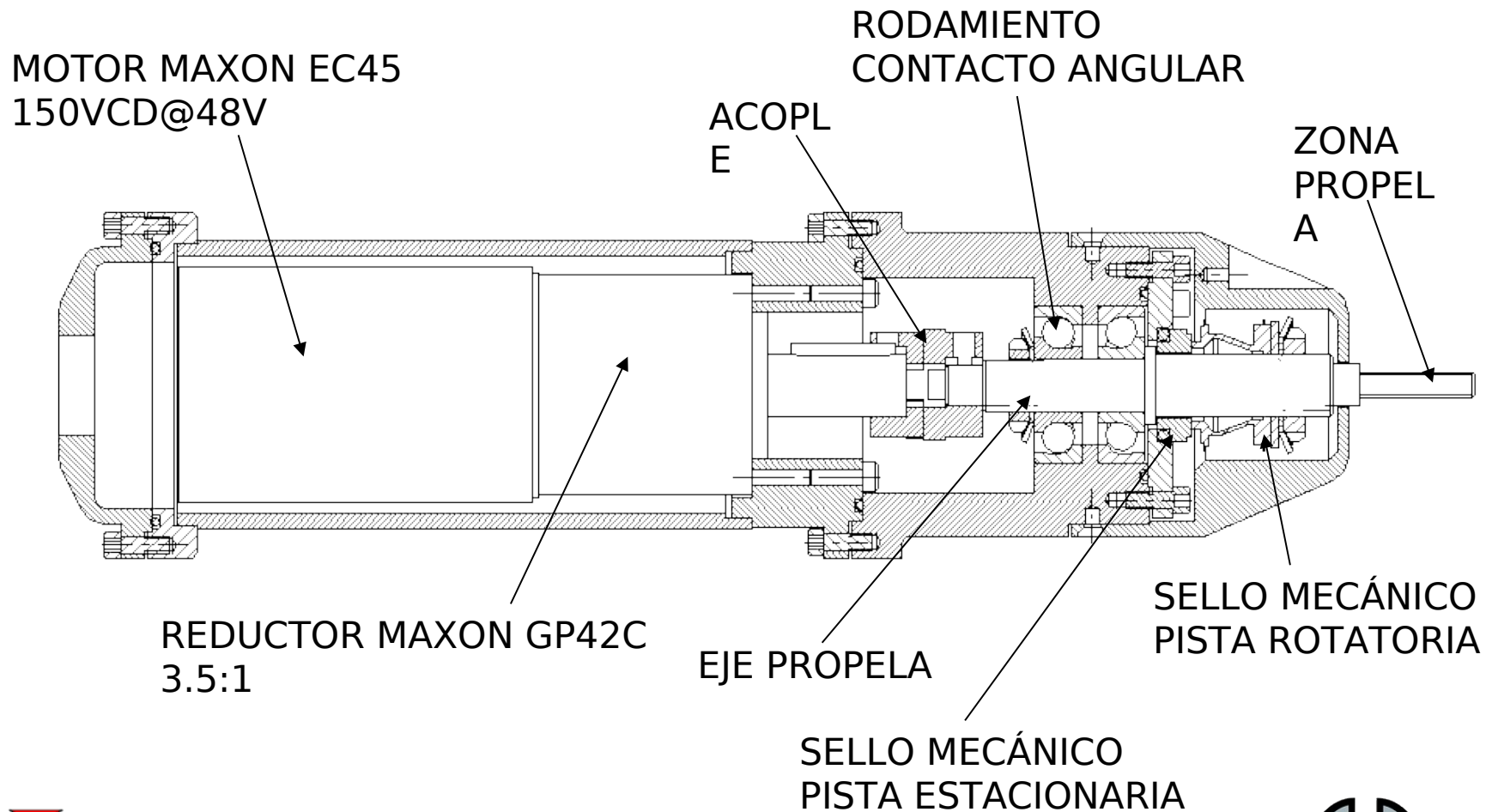
ROV: propulsores

- DISEÑO DEL PROPULSOR



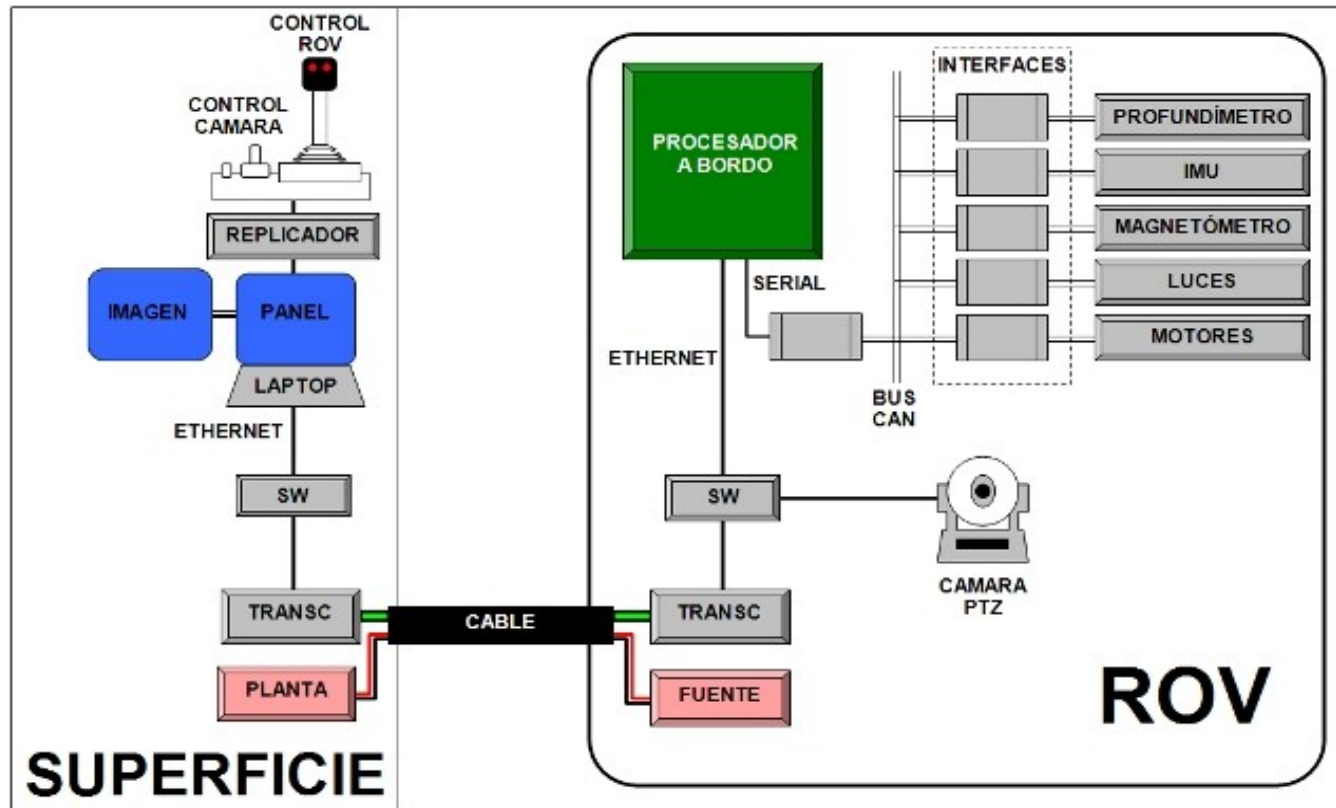
ROV: propulsores

■ PROPULSOR (CORTE)



ROV: arquitectura de hardware

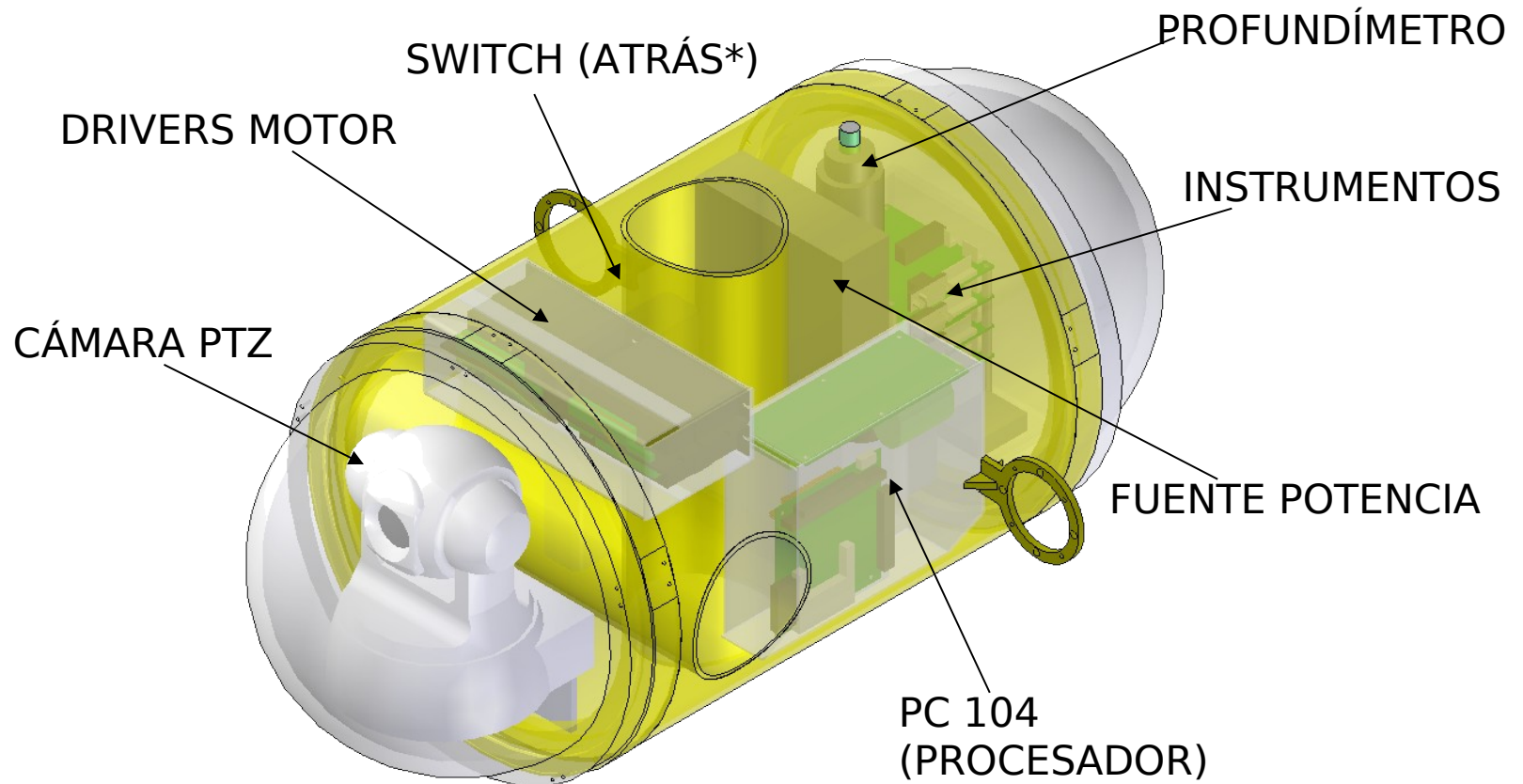
- HARDWARE (ARQUITECTURA)*



*Cortesía Carlos A. Zuluaga

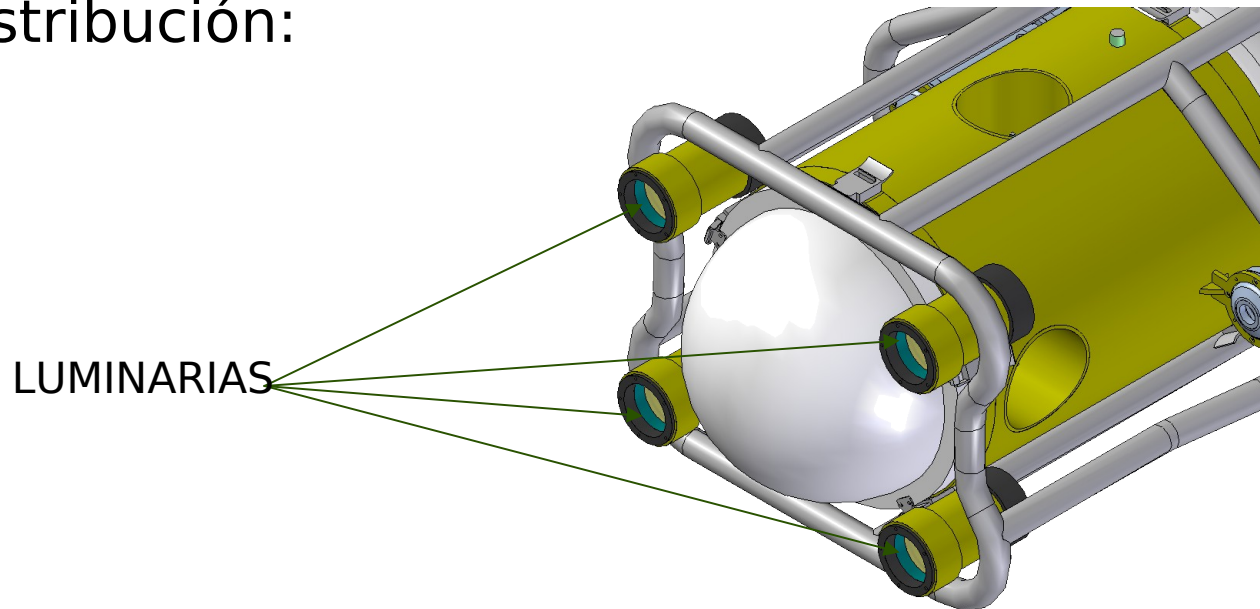
ROV: distribución

■ HARDWARE (DISTRIBUCIÓN)

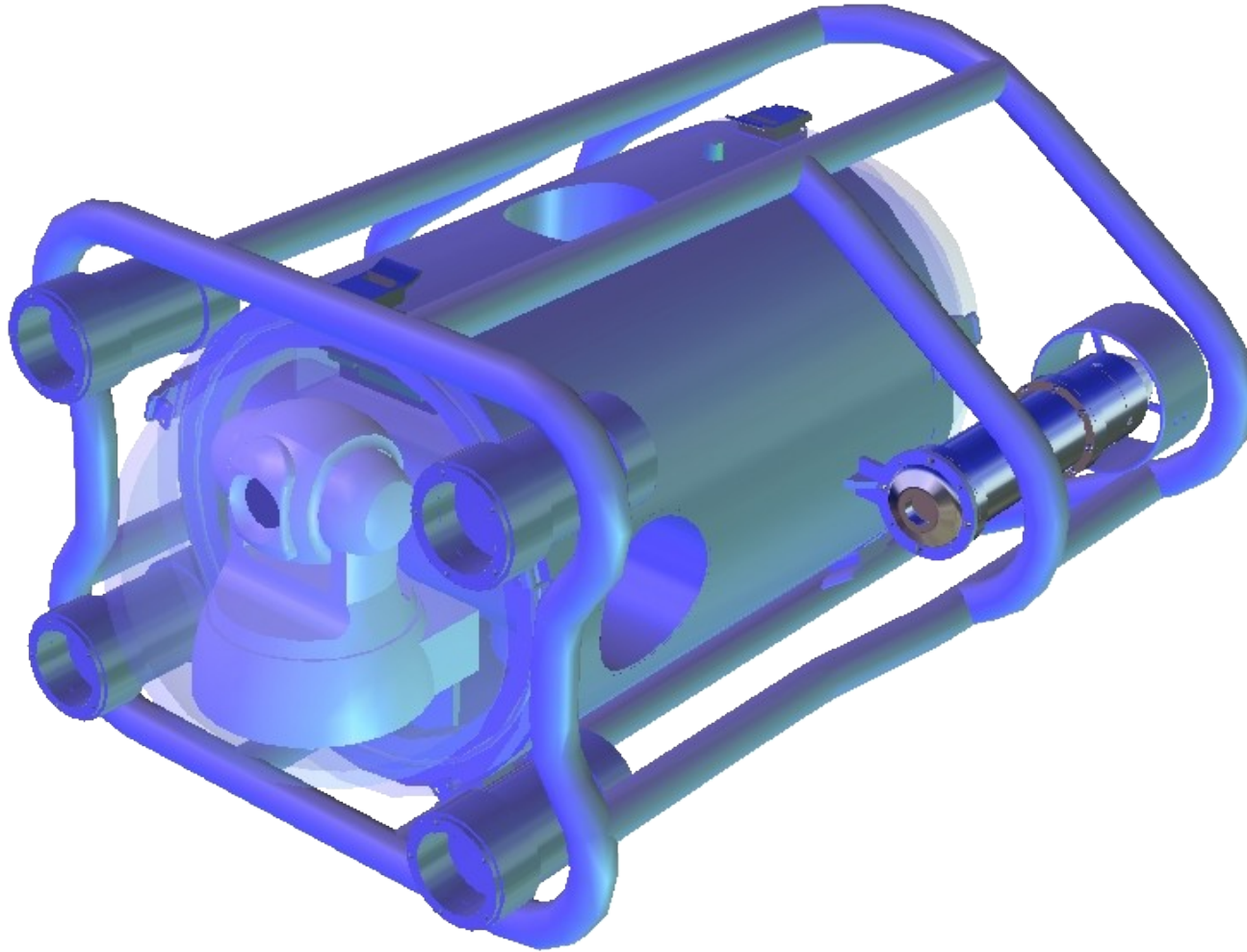


*No se ve en la figura

- ILUMINACIÓN (GENERAL)
 - Cantidad: 4
 - Características:
 - Tipo de bombilla: halógena
 - Potencia: 150 W c/u
 - Voltaje: 110 VAC
 - Distribución:



ROV: integración



PROYECTOS DE SISTEMAS AÉREOS NO TRIPULADOS

ALGUNOS UAVs



Ala fija



Ala rotatoria



Rotor inclinable



"Ducted Fan"

- Plataforma de investigación en UAVs del Laboratorio de UAVs de Georgia Institute of Technology
- Basado en un helicóptero comercial: Yamaha Rmax
- 3m de diámetro de rotor
- Motor de 20HP
- Generador a bordo
- Autonomía 1 hora
- Instrumentado por Georgia Tech



- Instrumentos:
 - Unidad inercial ISIS
 - GPS Novatel
 - Magnetómetro
 - Altímetro barométrico
 - Altímetro radar
- Sistema de navegación basado en Filtro extendido de Kalman de 17 estados
- Control base con redes neuronales
- Procesador auxiliar para probar otras tecnologías
- Sistema operativo QNX



GTMAX: tecnologías desarrolladas

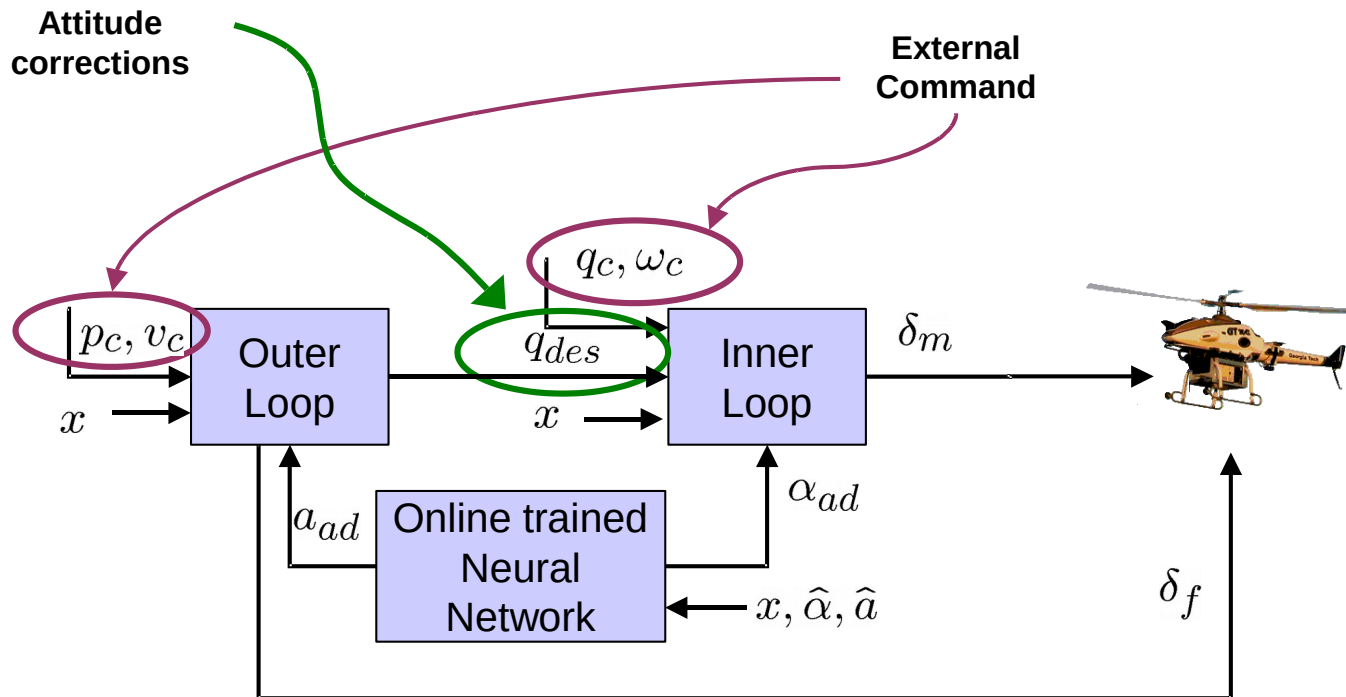
En el marco del programa SEC (Software Enabled Control) en Georgia Tech se investigó en el desarrollo de varias tecnologías aplicables a UAVs incluyendo:

- Control adaptativo basado en redes neuronales
- Detección y aislamiento de fallas (FDI Fault Detection and Isolation)
- Control Tolerante a Fallas (FTC Fault Tolerant Control)
- Control para protección de límites “Limit avoidance control”
- Control adaptativo por transición de modos*
- OCP (Open Control Platform)

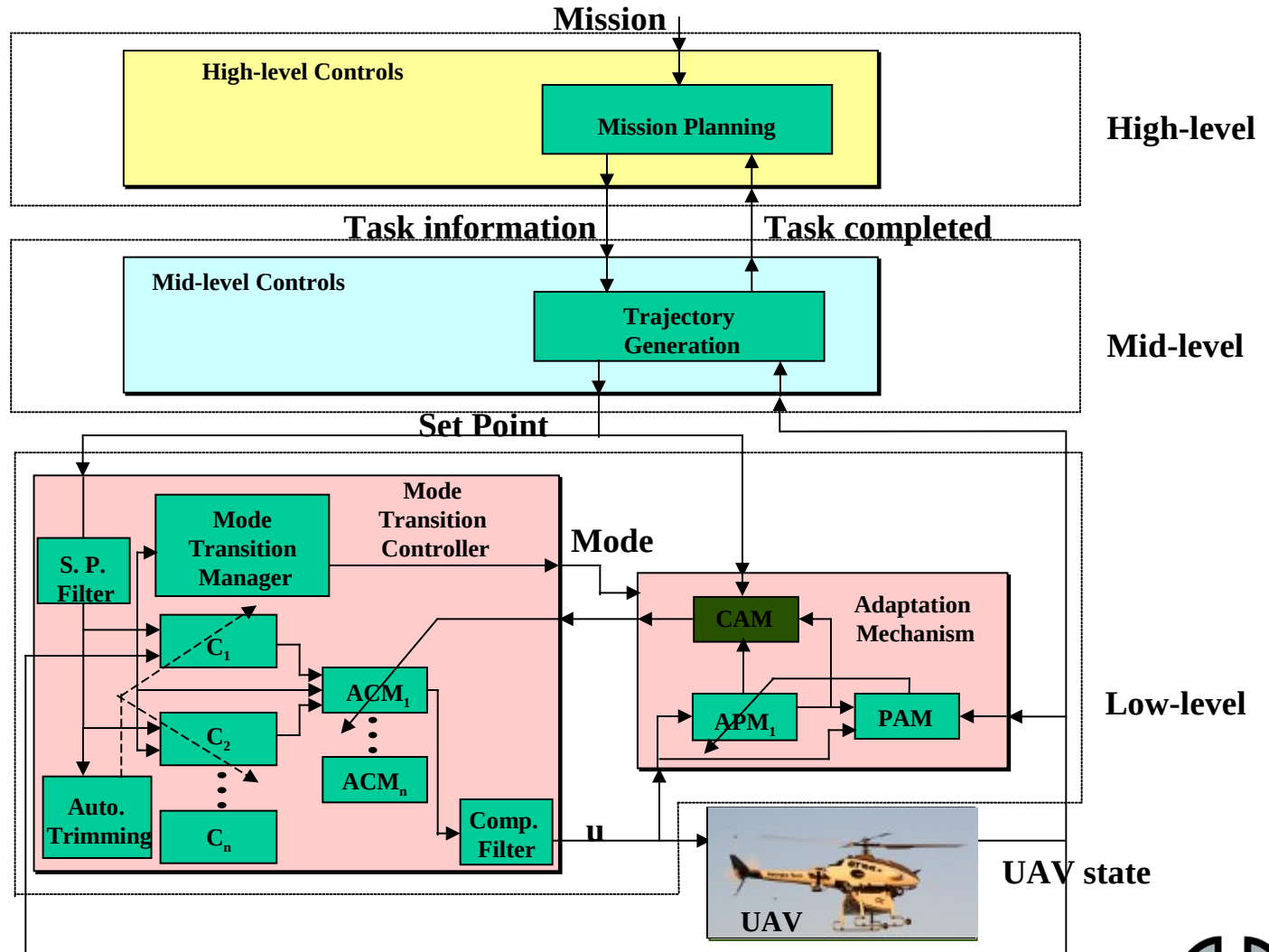
* Tema de mi tesis doctoral

GTMAX: controlador base

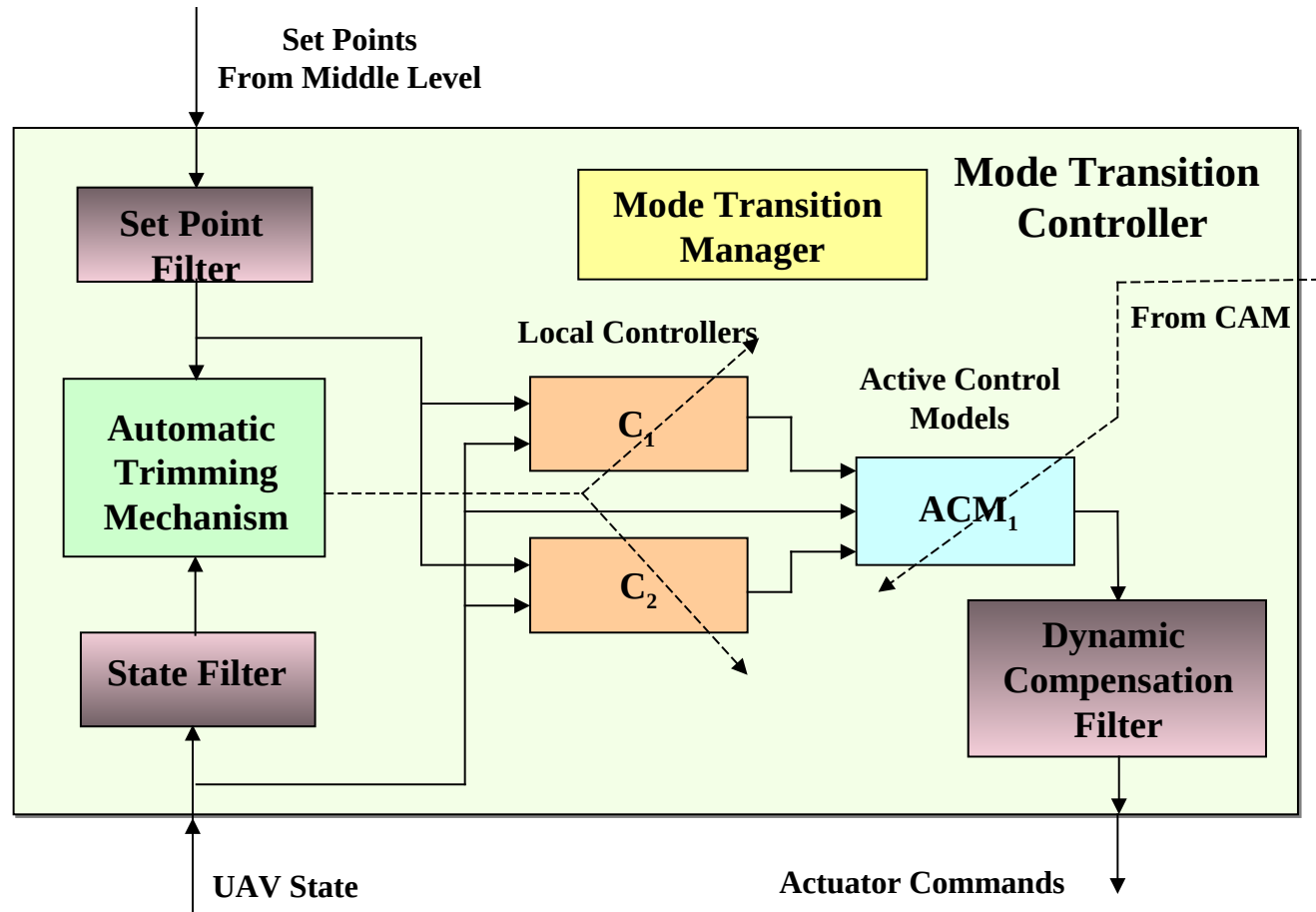
- Controlador de vuelo adaptativo basado en redes neuronales desarrollado en la Escuela de Ingeniería Aeroespacial de Georgia Tech



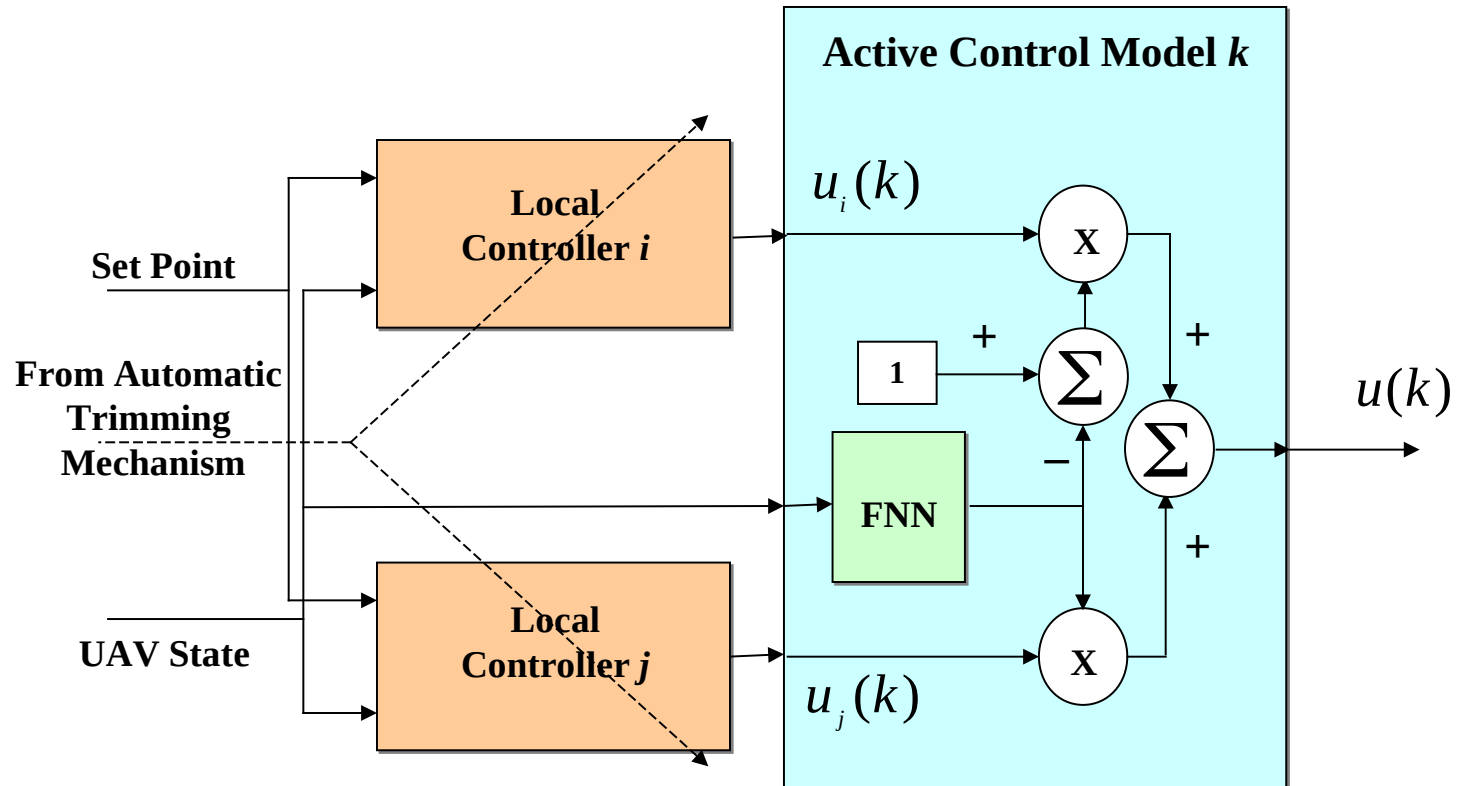
GTMAX: arquitectura del AMTC



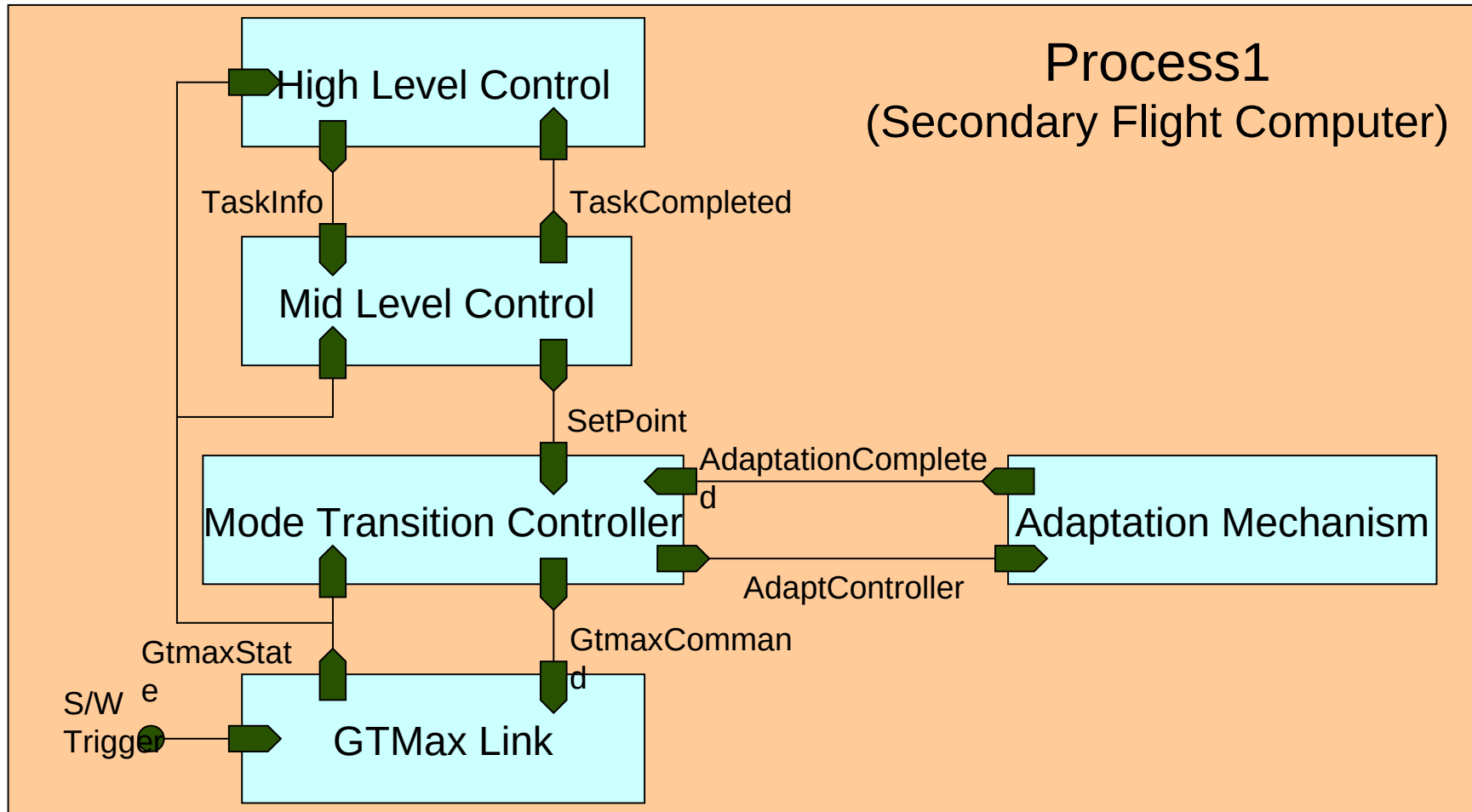
GTMAX: control por transición de modos



AMTC: modelo de control activo



AMTC: implementación en OCP



AMTC: SITL Simulations

The screenshot displays a simulation environment with several windows:

- ESim: 223**: A console window showing a log of system events. The text includes:


```

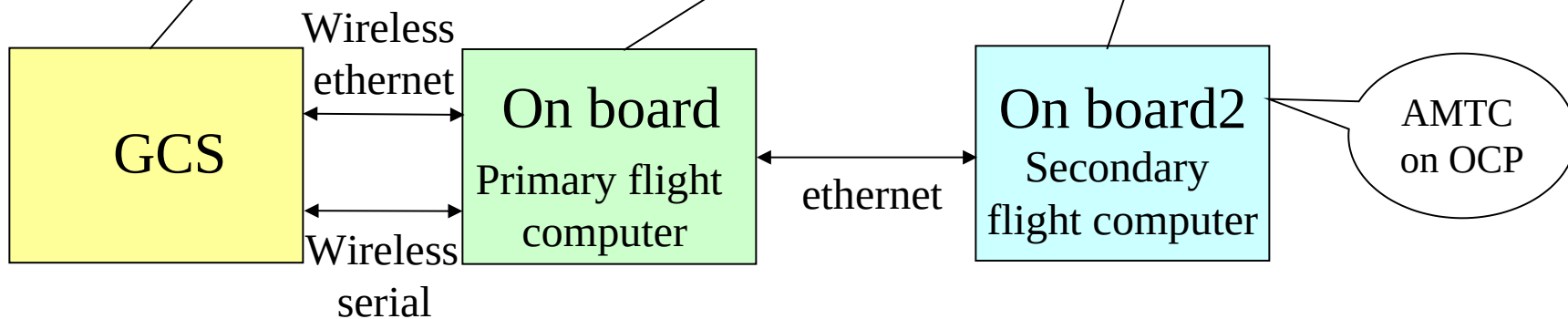
      directory received
      serial: Port 05B Emulator Open
      serial: Port 09B Emulator Open
      serial: Port 10B Emulator Open
      serial: Port 00B Emulator Open
      serial: Port 01B Emulator Open
      serial: Port 02B Emulator Open
      serial: Port 03B Emulator Open
      serial: Port 13B Emulator Open
      serial: Port 12B Emulator Open
      serial: Port 07B Emulator Open
      flight plan received
      flight plan received
      flight plan confirmed
      flight plan confirmed
      flight plan confirmed
      flight plan confirmed
      trajectory command received
      trajectory command received
      serial: Port 11 Emulator Open FAIL! (<too many>)
      sent dir 62
      sent dir 62
      sent dir 62
      sent dir 62
      *** Receiving IPC@ at t=206.64 ***
      22340(01)>
      
```
- GTMax Panel**: A control panel with buttons for:
 - MODE: BOTH, RUN, RTK, RANGE, OFF
 - STATUS: ON, GOOD, HOLD, ON, OFF
 - MODE: GOOD, GOOD, GOOD, GOOD, GOOD
 - MODE: OK, STOP, OFF, OFF, OFF
- Scene Window 0**: A 3D view of a quadcopter on a green field. The text "RPM849 AGL58 T0" is visible in the top left of the scene.
- obDataLinkMessageIPC0**: A data link window showing a table of parameters:

TYPE	NAME	VALUE	COMMENT
uchar	sync1	161	
uchar	sync2	176	
uchar	sync3	202	
uchar	hcsun	41	
uchar	csum	233	
int	messageID	22	id #
int	messageSi	268	including header
char	navStatus	1	status of nav sys
char	gpsStatus	4	status of gps
char	sonarStat	1	status of sonar
char	radarStat	0	status of radar
char	magnetSta	1	status of magneto
char	overrun	0	frame overrun
char	wcu	0	weight on skids
char	autopilot	2	autopilot engaged
char	lavoid	0	limit avoidance
char	mtcStatus	0	mtc status
char	fdiStatus	0	fdi status (0=off
char	rpmStatus	0	rpm controller st
float	rpmCon_Co	0,00000000	collective pos, u
int	k	423	discrete time onb
float	time	223,470001	onboard time
int	kdelay	1	discrete time del
float	timedelay	0,05000732	time delay
float	pos[0]	-0,7241120	position of vehic
float	pos[1]	0,27416003	position of vehic
float	pos[2]	-59,973640	position of vehic
float	vel[0]	0,34527332	velocity of vehic
float	vel[1]	-0,2674178	velocity of vehic
float	vel[2]	-0,0032683	velocity of vehic
float	acc[0]	9,78555393	accel of vehicle
float	acc[1]	-8,5732021	accel of vehicle

AMTC: configuración de vuelo

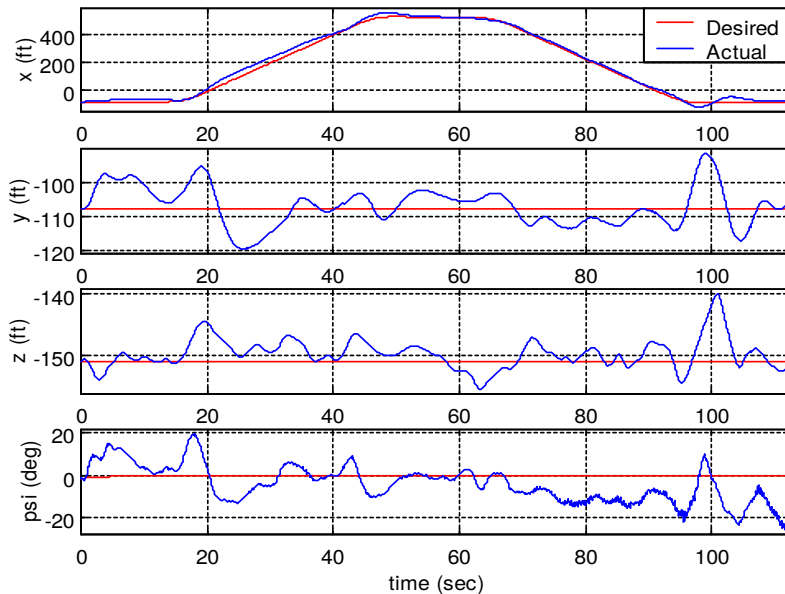


On board
UAV

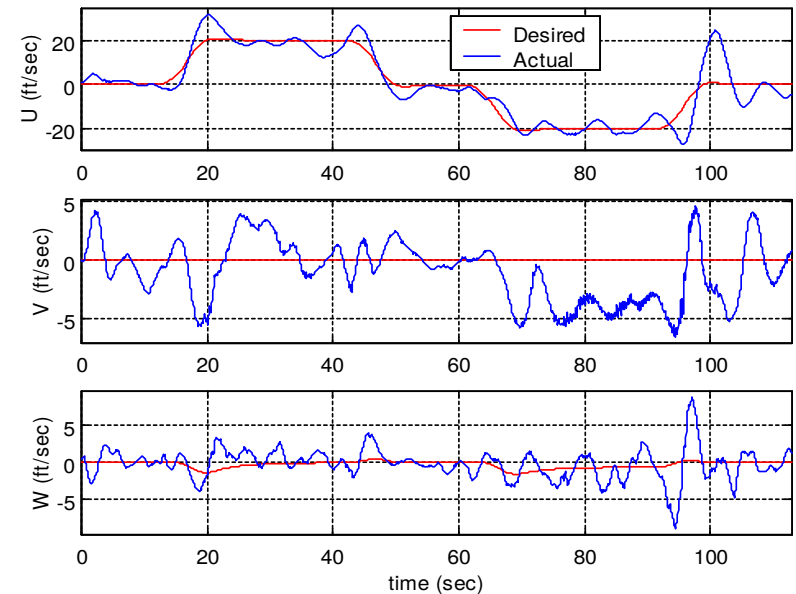


AMTC: resultados de vuelo

Desired and Actual Position and Heading



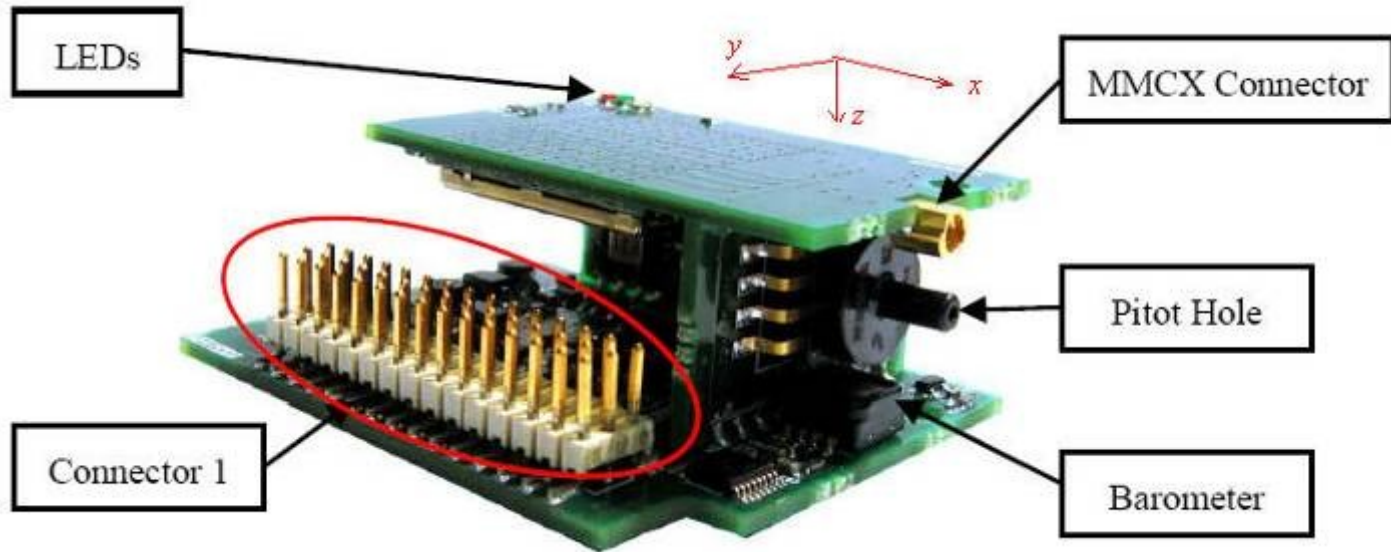
Desired and Actual Velocity in Body Frame



- Proyecto formulado por EAFIT con el apoyo de la UdeM y la UPB, patrocinado por Colciencias (2004-2006)
- Se trata de lograr el vuelo autónomo de un UAV basado en un helicóptero



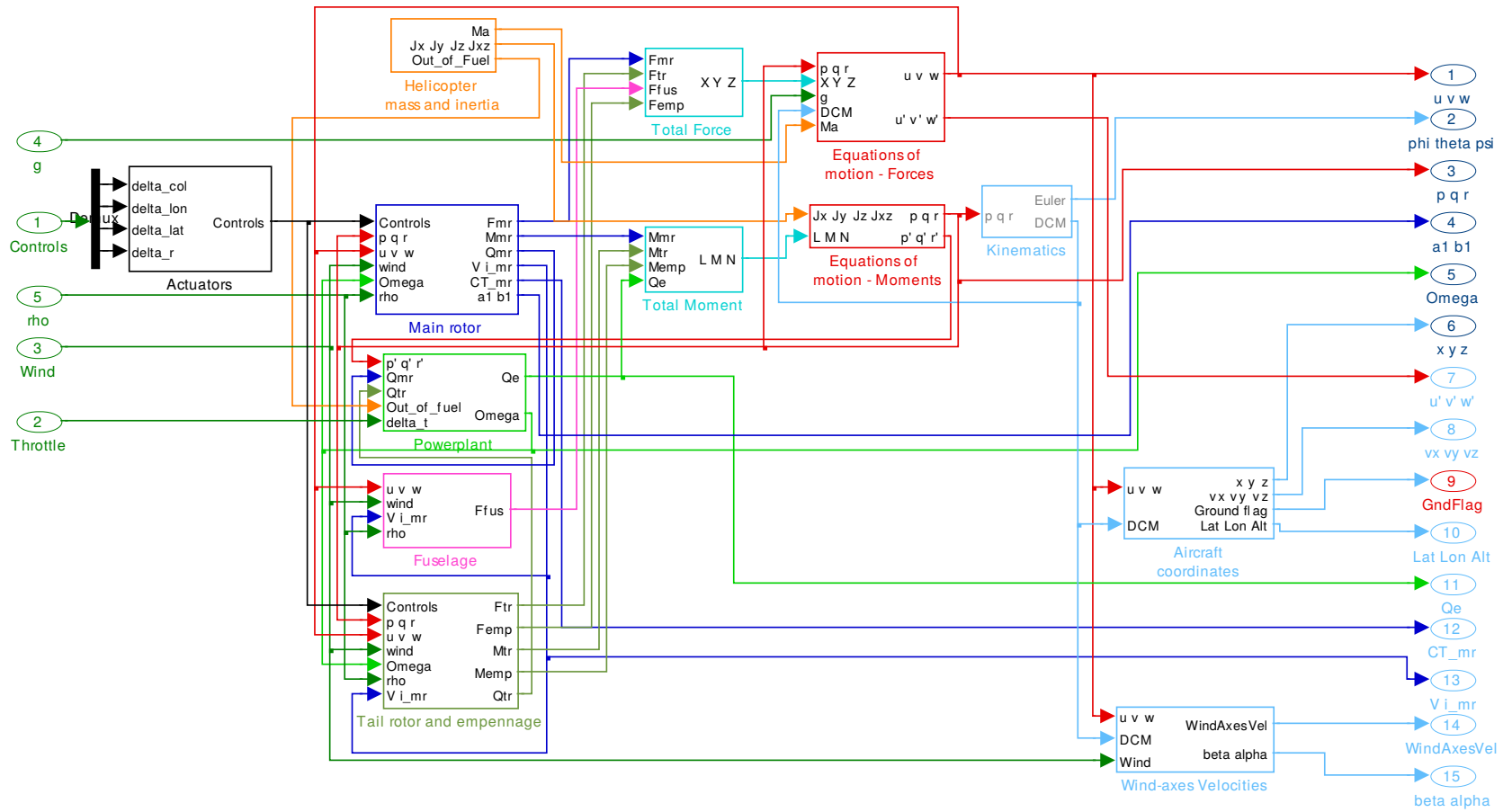
COLIBRI: instrumentación



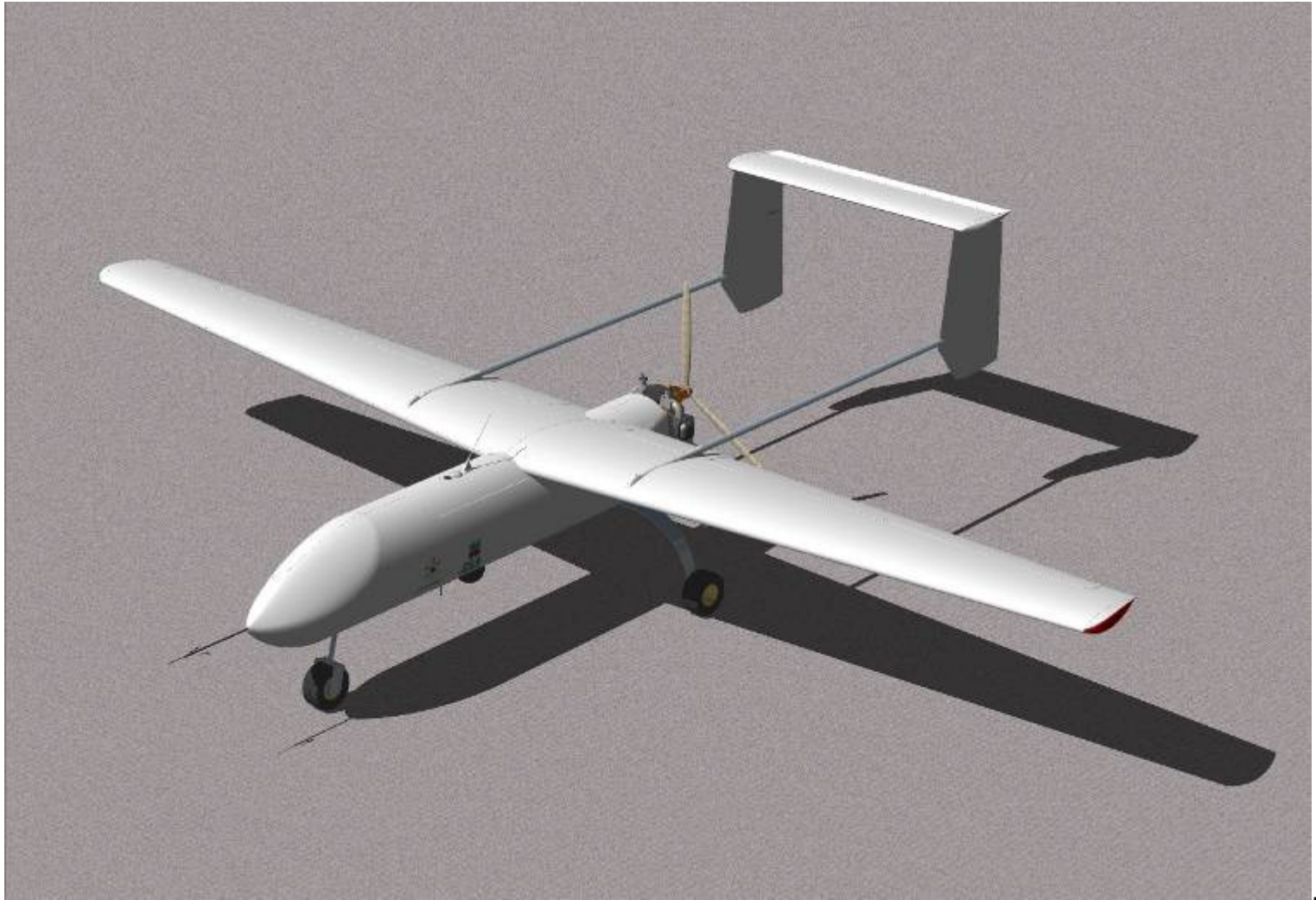
COLIBRI: aviónica



COLIBRI: modelo de simulación



UAV AURA



AURA: antecedentes

- Inicialmente en la UPB se desarrolló un proyecto que fue planteado por ISA para resolver su necesidad particular de inspeccionar el sistema de interconexión eléctrica.
- A partir de los resultados obtenidos, se ha reconocido la potencialidad de aplicar la solución propuesta a otros sectores de interés nacional.
- Por esta razón se sostuvieron contactos con el Ministerio de Defensa y la Fuerza Aérea Colombiana.

AURA: antecedentes

- Se desarrolló el proyecto “Investigación y diseño de un sistema automático de inspección remota para líneas de transmisión de energía eléctrica” para Interconexión Eléctrica E.S.P., ISA, con el apoyo de Colciencias (2004-2005)
- Se hizo toda la gestión para realizar las fases 2 y 3 de construcción del UAV AURA y pruebas del mismo, pero al final de 2007 ISA decidió no continuar en el proyecto.
- En vista de la falta de apoyo externo se está desarrollando el proyecto “Desarrollo de un vehículo Aéreo no tripulado para misiones de rango corto AURA jr” que busca un diseño optimizado de un UAV comercializable.

- Objetivo general de la primera fase:

Investigar y prediseñar el prototipo de un sistema autónomo de inspección de líneas de transmisión de alta tensión.

- Objetivos específicos iniciales del proyecto:

- Evaluar las alternativas tecnológicas posibles.
- Determinar y diseñar el sistema óptimo de telecomunicaciones.
- Determinar y diseñar el mecanismo óptimo de movimiento.
- Prediseñar el sistema y los algoritmos que permitan el análisis del entorno.
- Prediseñar del sistema de control autónomo.

RESULTADOS - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Para el cumplimiento de la misión, se prediseñó un UAV con las siguientes características:

- Configuración: pusher con doble tail boom.
- Dimensiones Generales:
 - Envergadura: 10m
 - Área Alar: 9m^2
 - Relación de Aspecto Alar: 11.11
 - Longitud: 7 m
 - Altura: 1.6 m
- Motor: 81 hp @ 5500 rpm, gasolina, 4 tiempos, 2 cilindros.
- Generador: 1.68 kW.
- Sistema de recuperación: paracaídas y *air bags*.

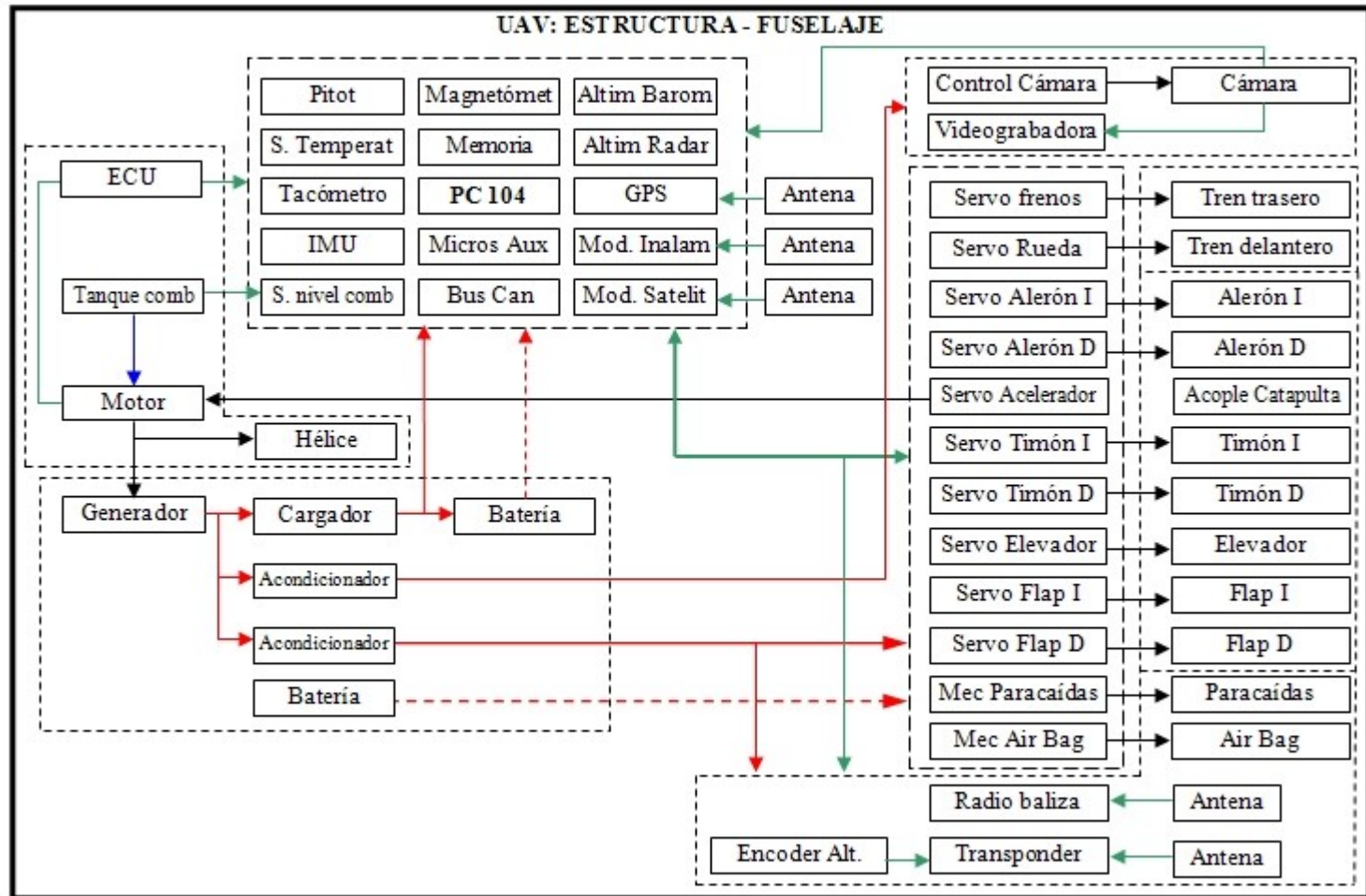
RESULTADOS - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Desempeño:

- Velocidad de Aterrizaje: 60 Nudos @ 3000m ASL
- Velocidad de Crucero: 109 Nudos
- Altura de Crucero: 9843 Pies (3000m)
- Techo Máximo: 20.000 pies (6000m)
- Rata de Ascenso: 1000 Pies/min
- Autonomía: >5 hrs.
- Rango: 400 Km.
- Peso Máximo al Despegue: 500Kg
- Carga útil: 50 kg

AURA: subsistemas de abordo

DISEÑO BÁSICO UAV AURA – SUBSISTEMAS

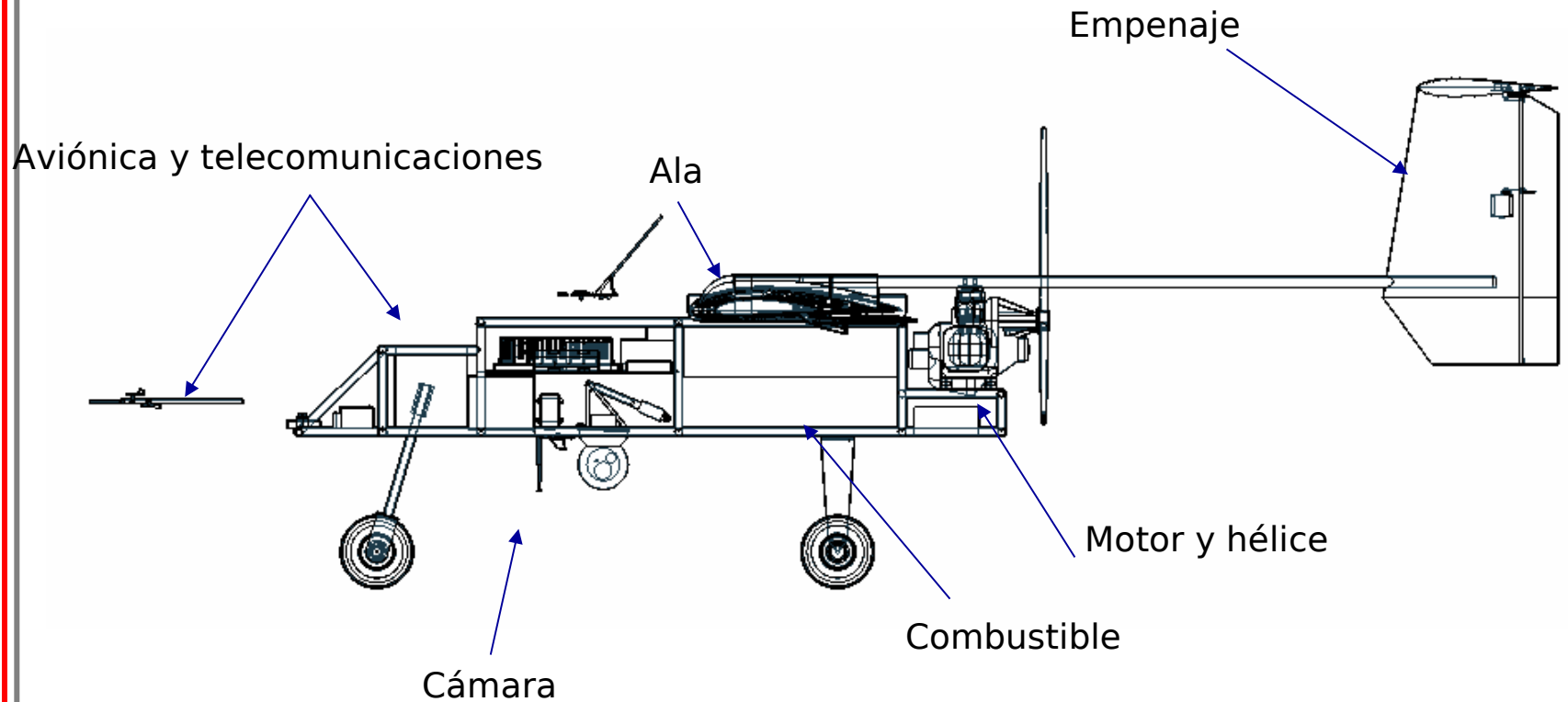


CONVENCIONES

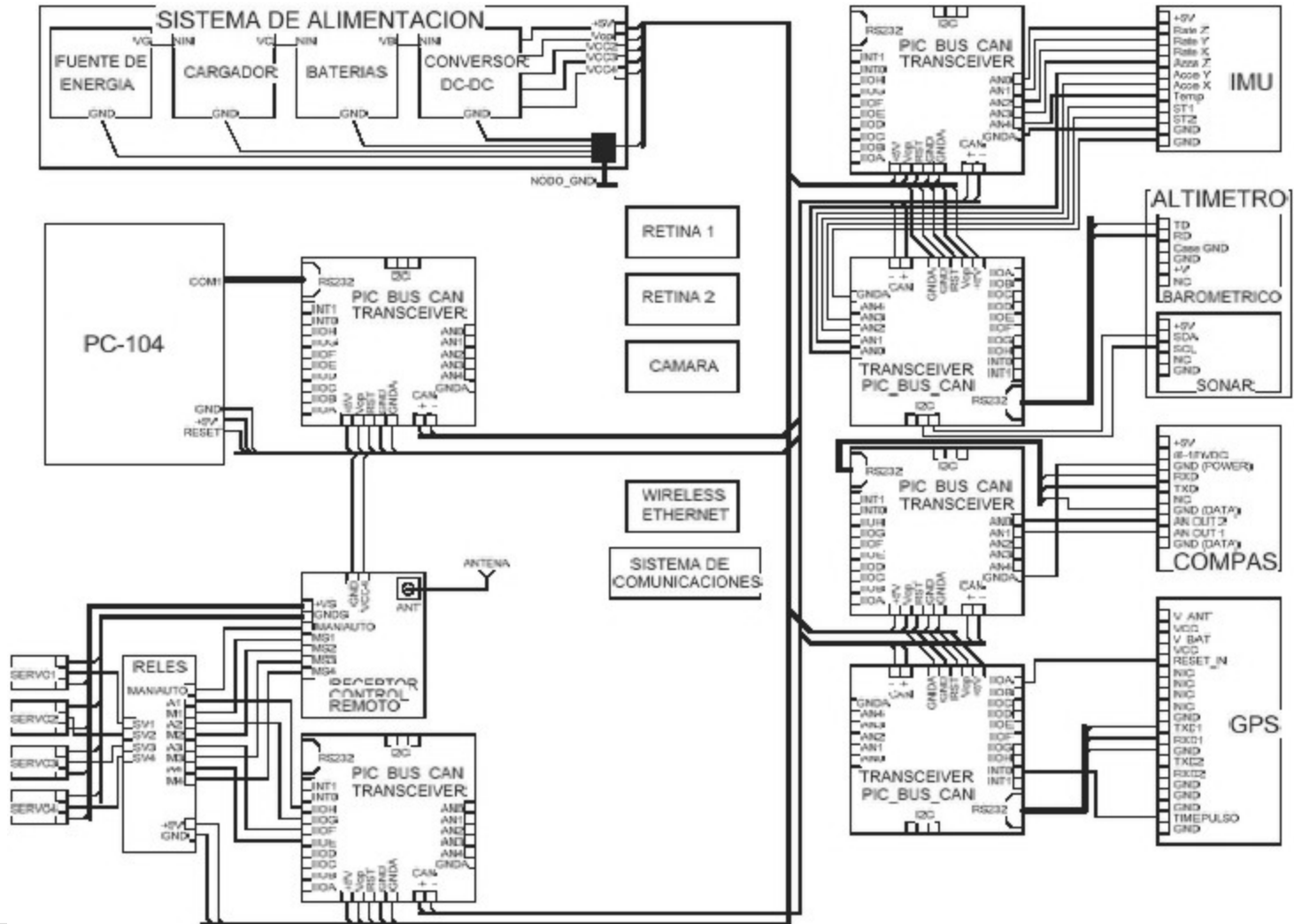
→ Vínculo mecánico → Flujo de combustible → Señal → Alimentación eléctrica



AURA: distribución de componentes



AURA: arquitectura de hardware

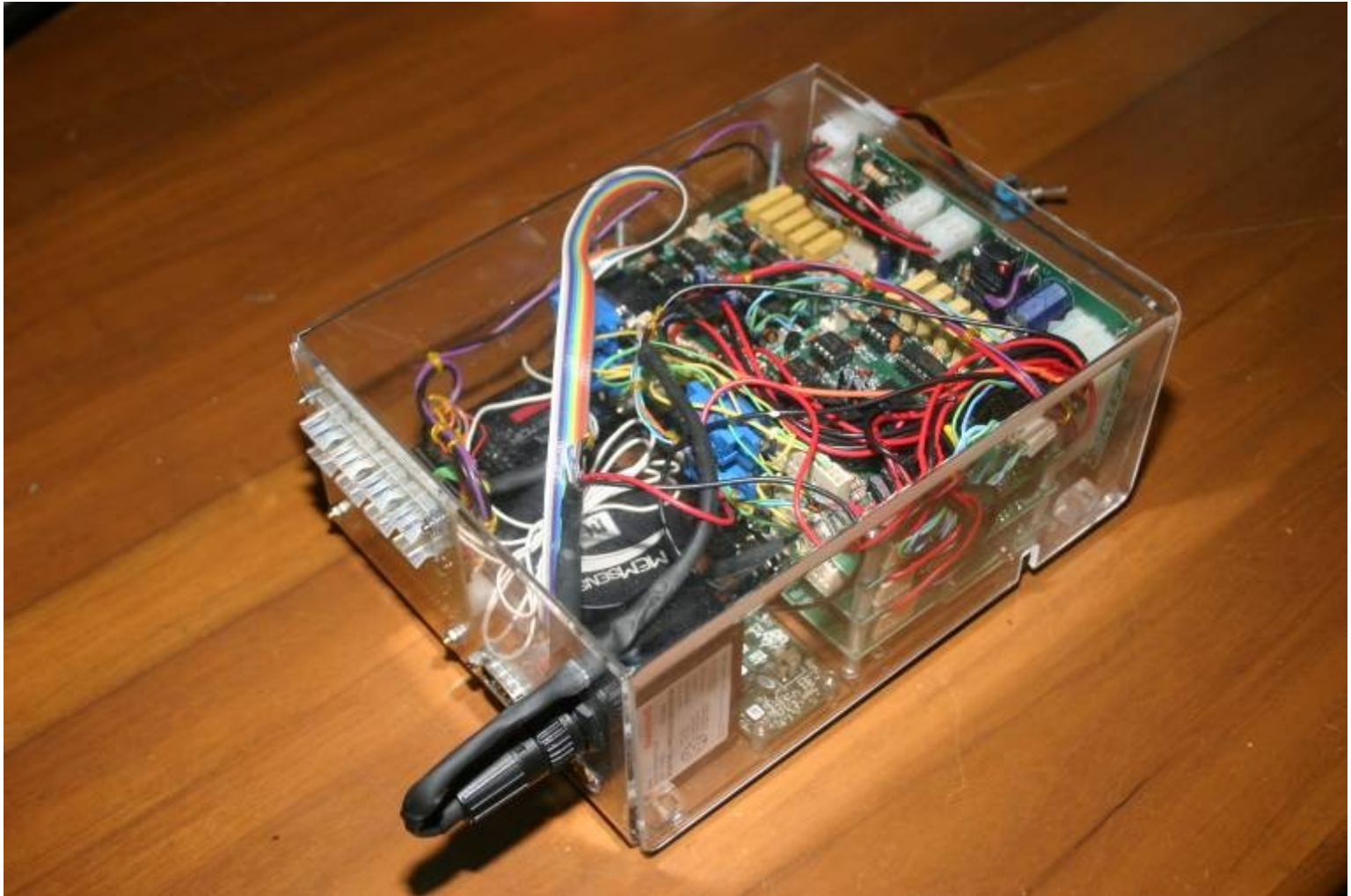


AURA: prototipo a escala reducida

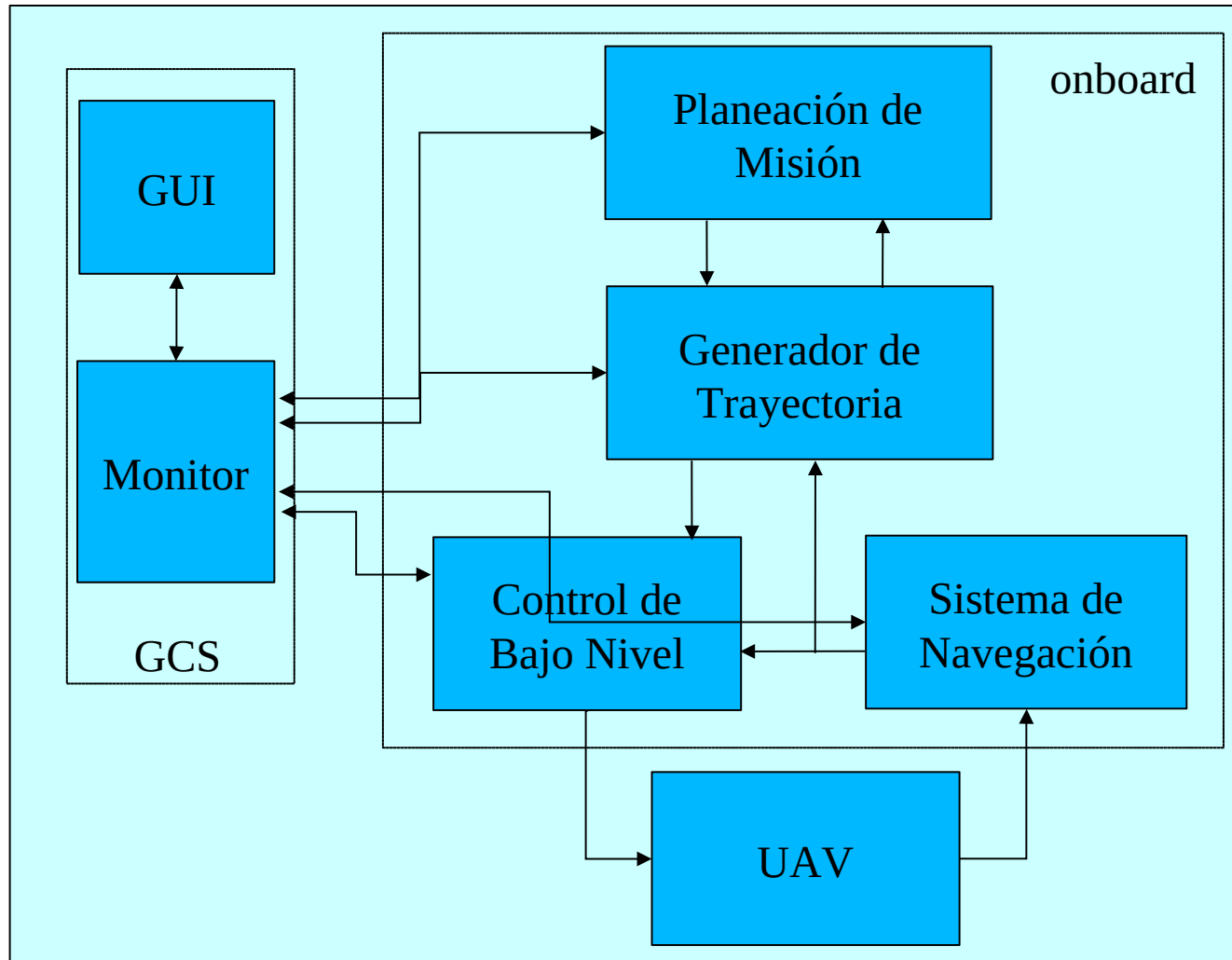
- Prototipo a escala reducida AURA jr



AURA: prototipo inicial de aviónica



AURA: arquitectura de control



AURA JR



AURA JR: antecedentes

- Se buscó la continuidad del proyecto con ISA pero finalmente decidieron apartarse del mismo.
- La UPB continúa la investigación con recursos propios:
 - Se ha venido trabajando en el UAV AURA jr para optimizarlo y acabar de desarrollar el sistema de control autónomo.
 - Se está completando un proyecto interno en la UPB para optimizar el AURA jr. La mayoría de los recursos corresponden al personal.
 - Se consiguieron recursos adicionales para terminar el desarrollo.
- Se está buscando el desarrollo de un UAV comercializable.

AURA JR



AURA JR: pruebas de vuelo



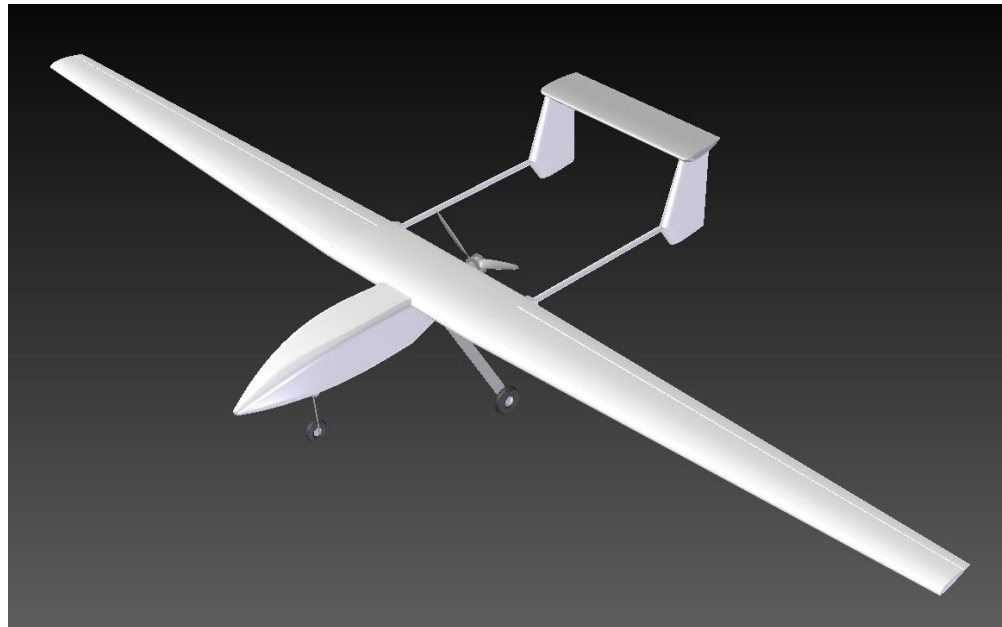
AURA JR: evolución



AURA jr A



AURA jr B



AURA jr C

AURA jr: nuevos desarrollos

- Revisión de diseño: análisis detallado de aerodinámica, propulsión, desempeño, estructura.
- Mejoras en el UAV AURA jr:
 - Cambio de motor Super Tigre 2300 (3.7HP) por un Fuji 64EI (5.7HP).
 - Desarrollo de sistema de aviónica (versión 2).
 - Revisión de cableado.
 - Construcción de aviónica “dummy” para pruebas.
 - Pruebas de propulsión.
 - Diseño y construcción de nuevos componentes.
 - Pruebas.
- Desarrollo de modelo de simulación del UAV AURA jr en Simulink ®.
- Desarrollo del software de control.

AURA JR: nuevo motor

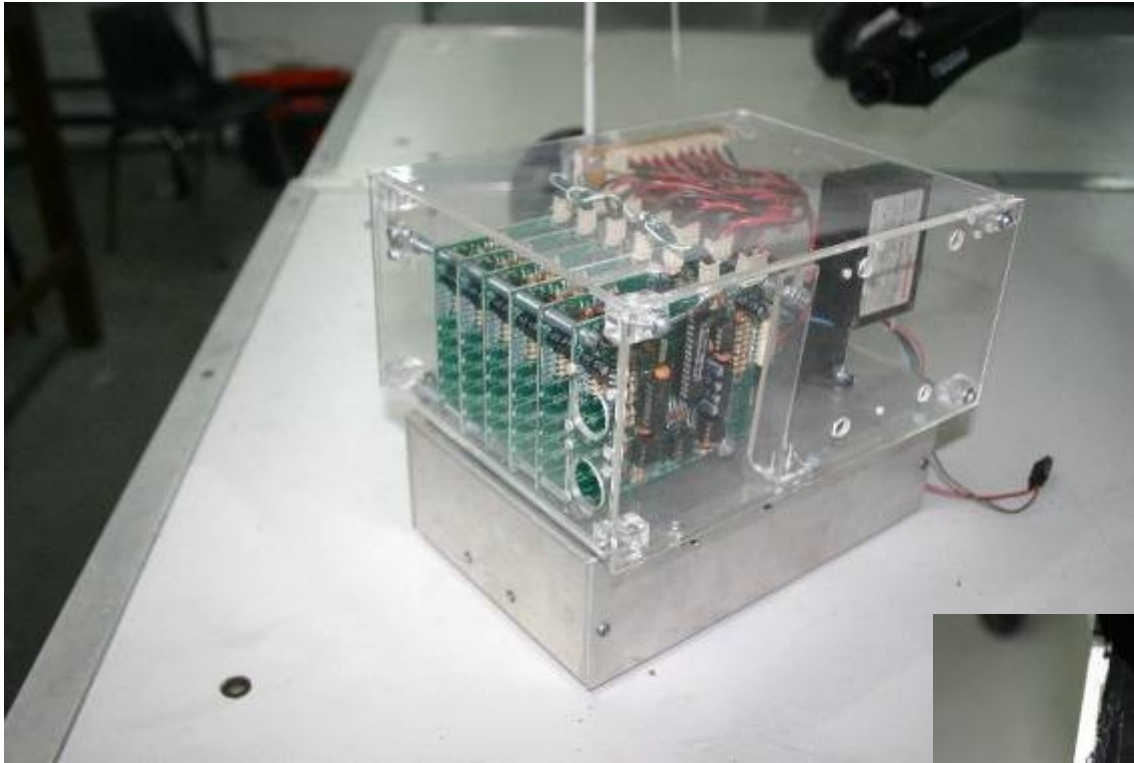


Instalación del nuevo motor

Fuji 64EI vs. Super Tigre 2300



AURA jr: aviónica versión 2



Aviónica (versión 2)

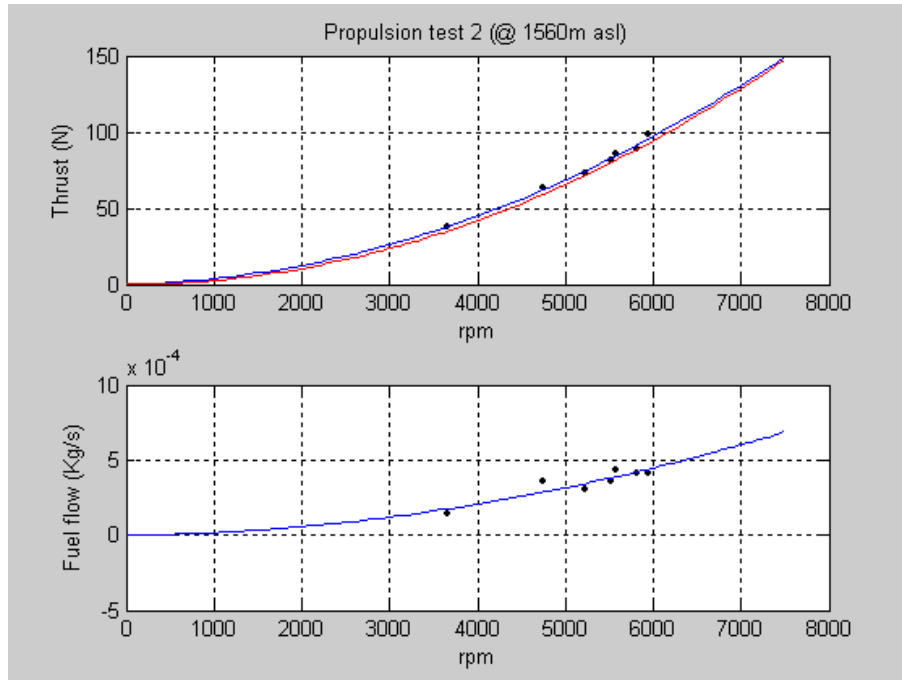
Pánel de suiches



AURA JR: diseño optimizado

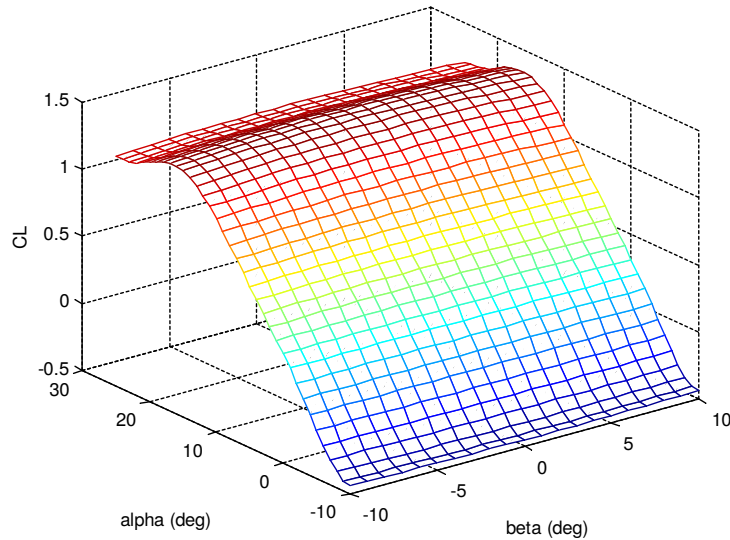
- Diseño basado en desempeño:
 - Propulsión
 - Motor
 - Hélice
 - Aerodinámica
 - Estabilidad y control
 - Modelo de simulación
 - Diseño estructural
- Guía, navegación y control:
 - Identificación del modelo
 - Sistema de navegación
 - Sistemas de guía
 - Sistema de control
- Desarrollo de aviónica v. 3

PRUEBAS DE PROPULSIÓN

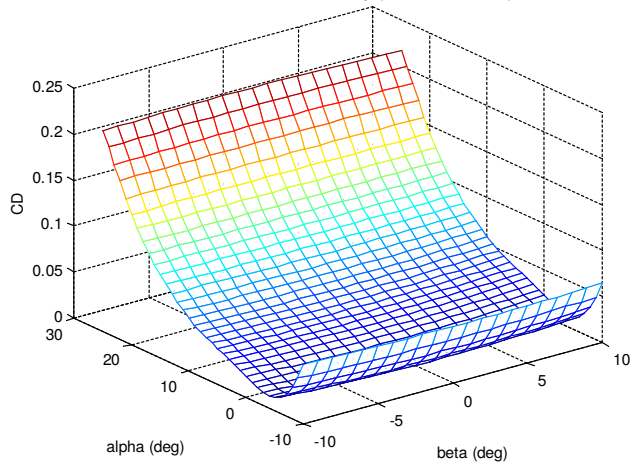


AERODINÁMICA

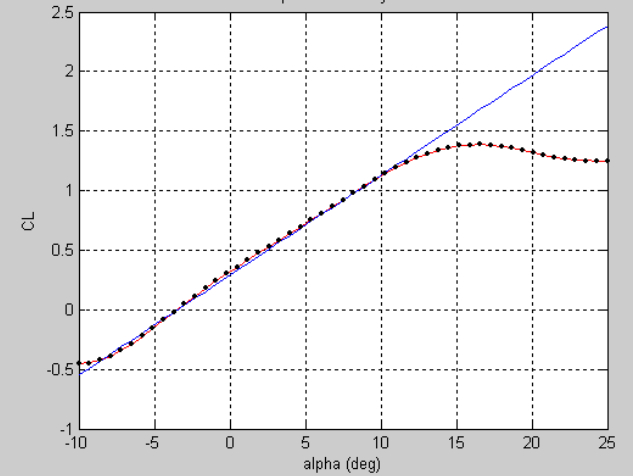
Aircraft coefficients for AURAJr (Nonlinear solution)



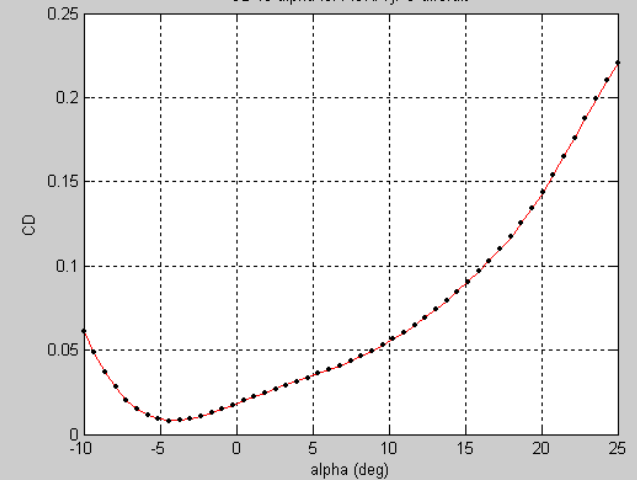
Aircraft coefficients for AURAJr (Nonlinear solution)



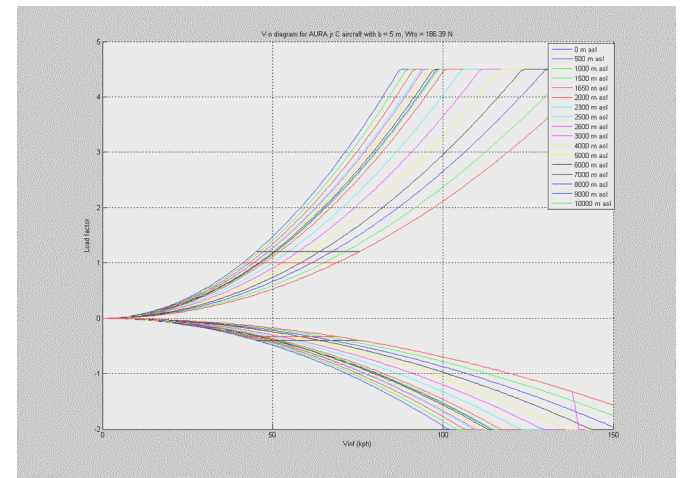
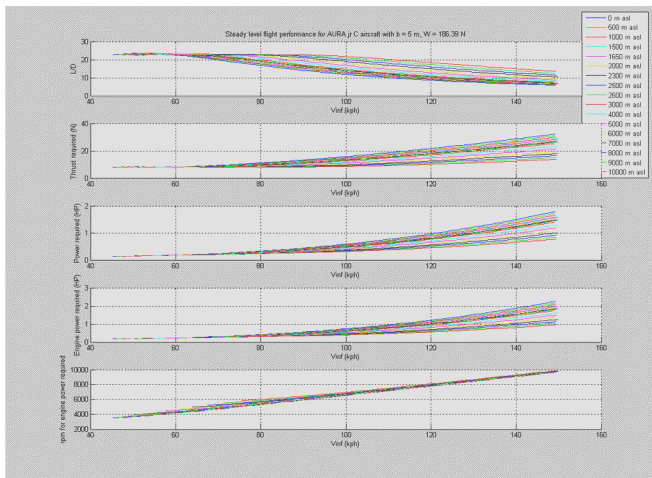
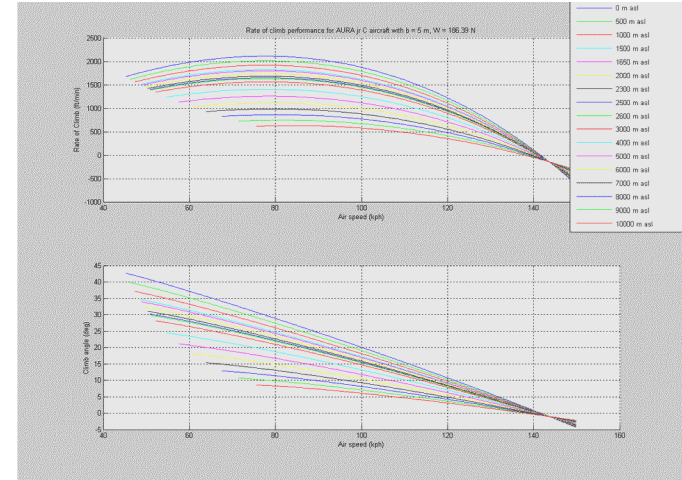
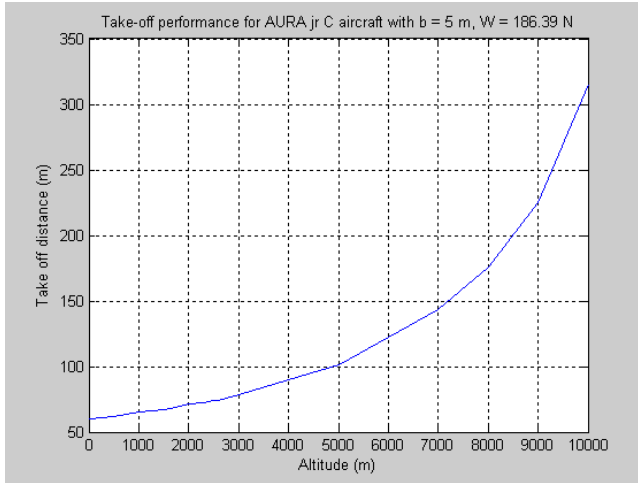
CL vs alpha for AURAJr C aircraft



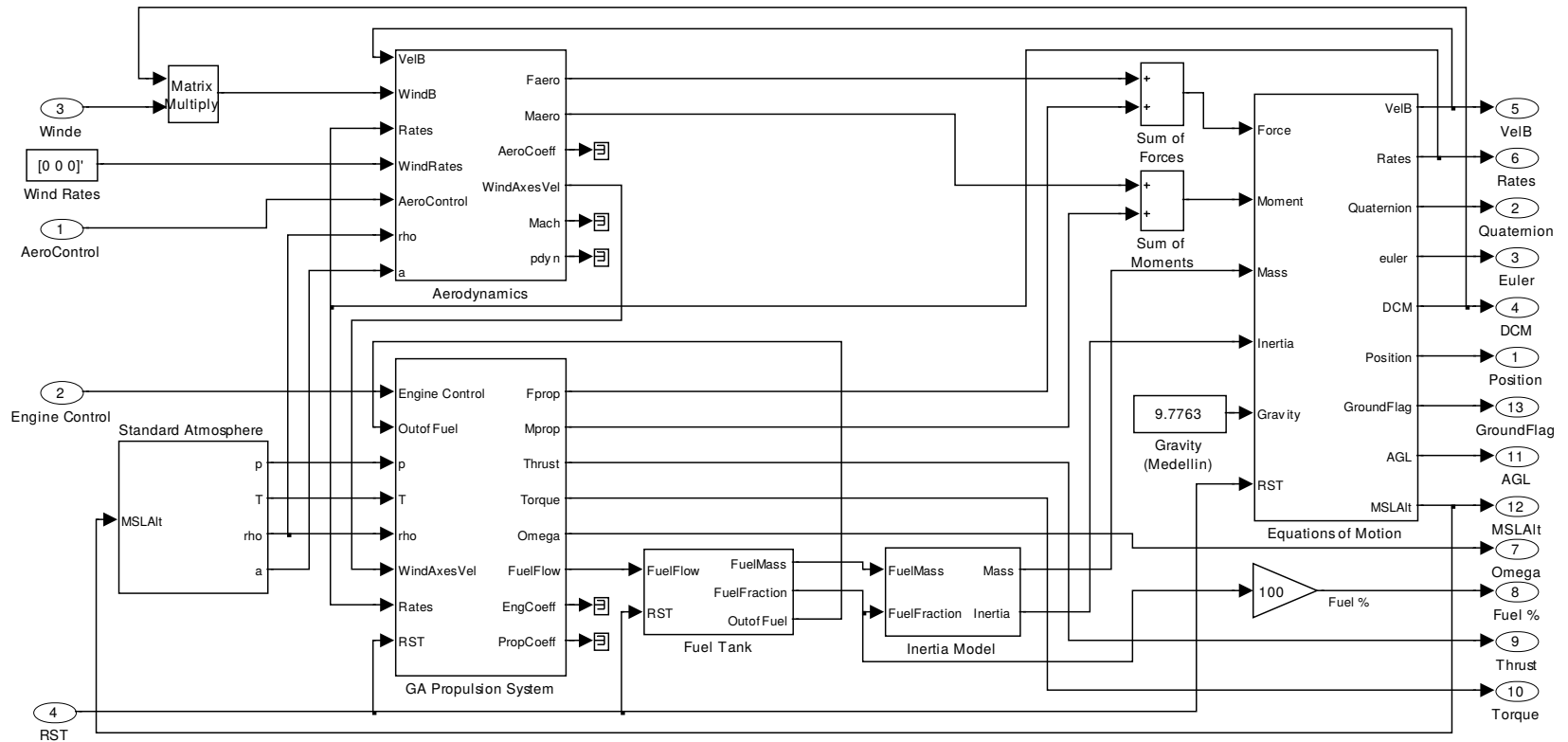
CD vs alpha for AURAJr C aircraft



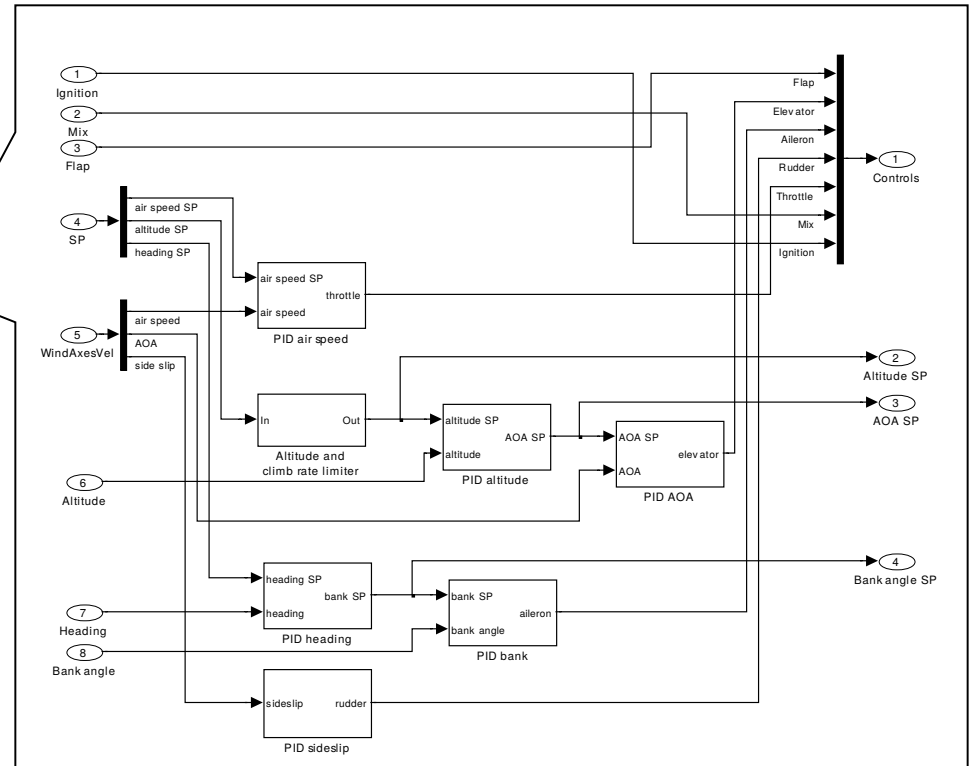
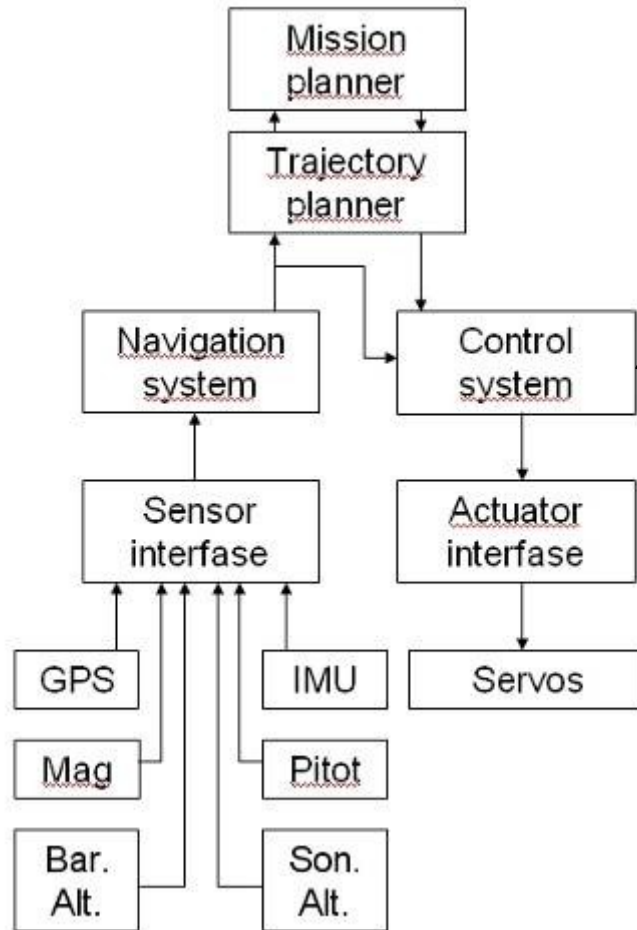
ANÁLISIS DE DESEMPEÑO



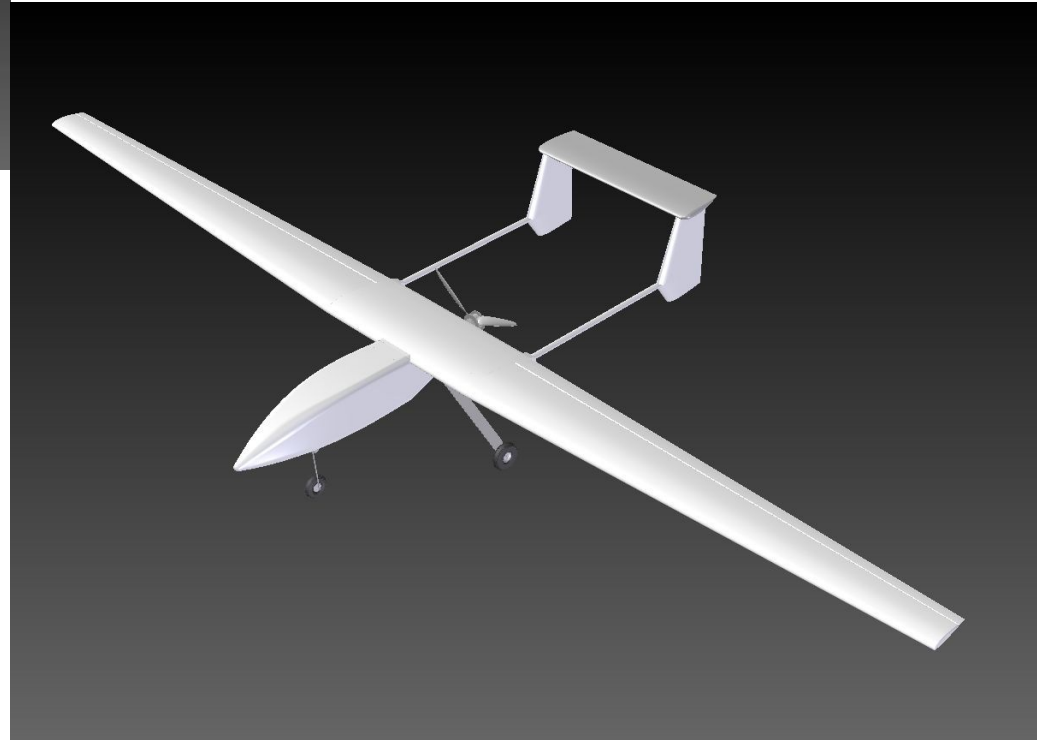
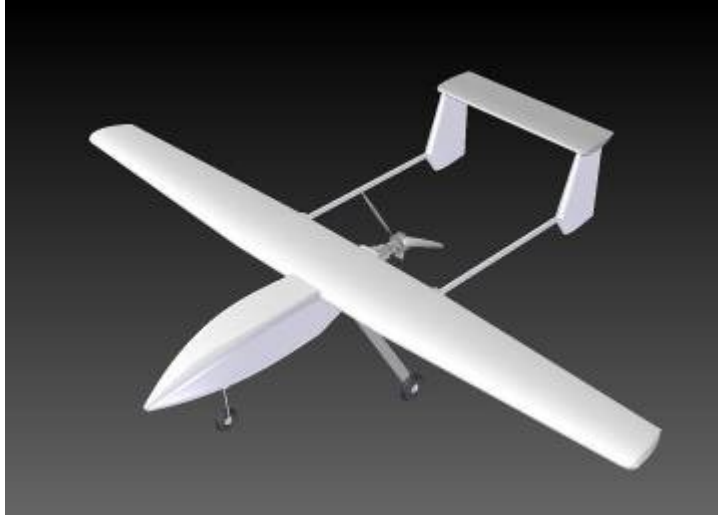
MODELO DE SIMULACIÓN



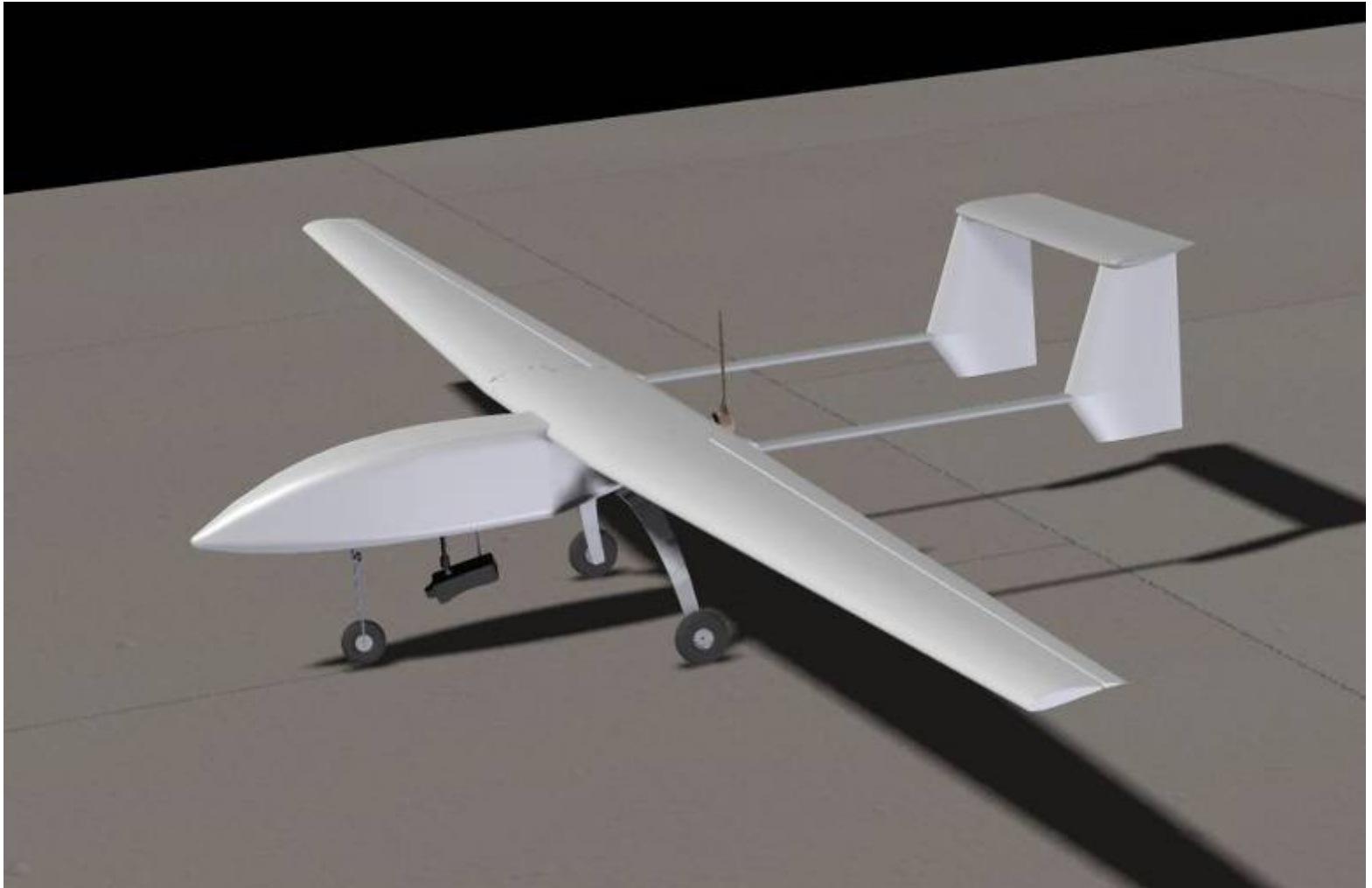
SISTEMA DE GUÍA, NAVEGACIÓN Y CONTROL



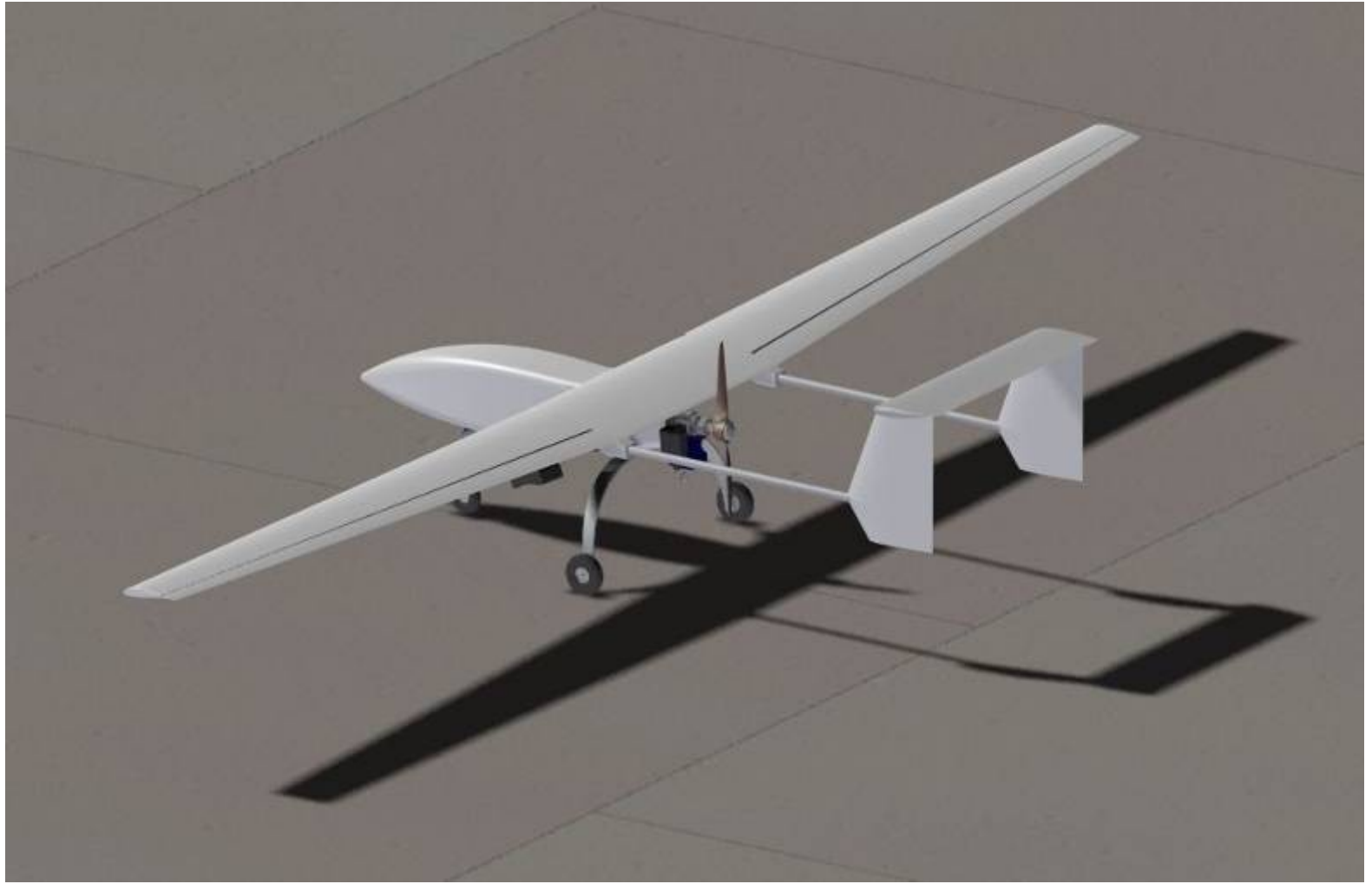
AURA jr B vs AURA jr C



AURA jr C



AURA jr C



AURA jr C



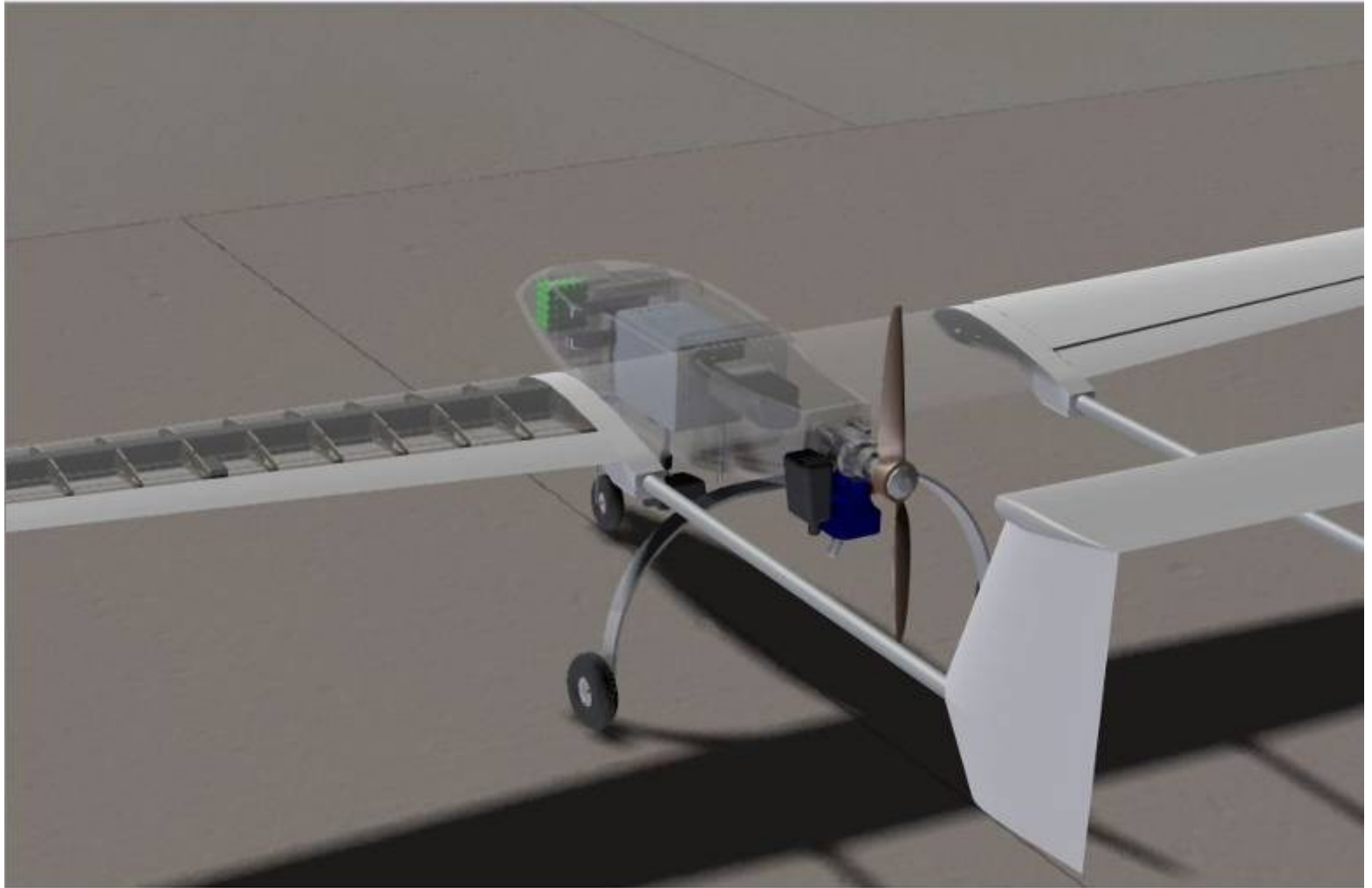
AURA jr C



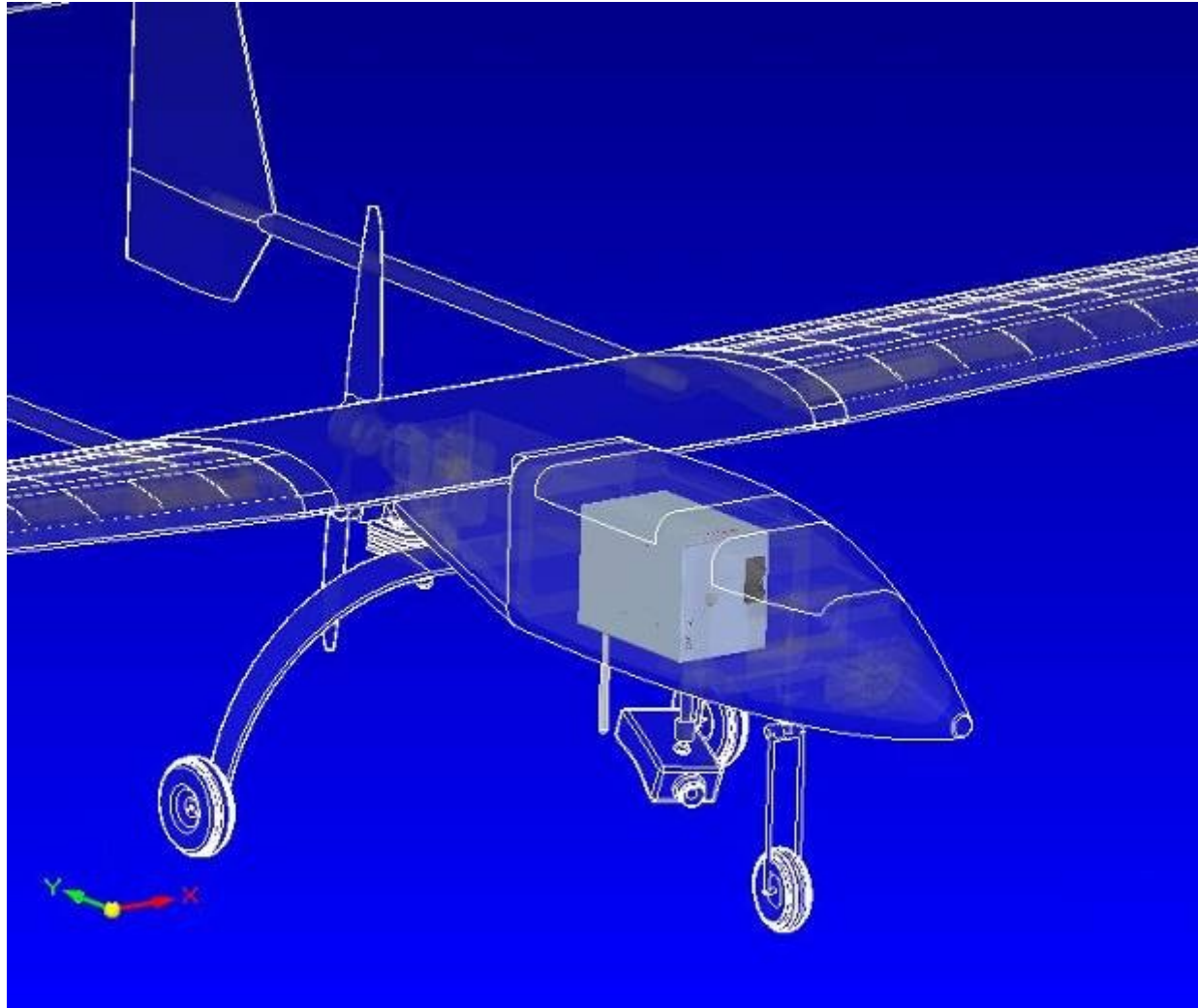
AURA jr C



AURA jr C



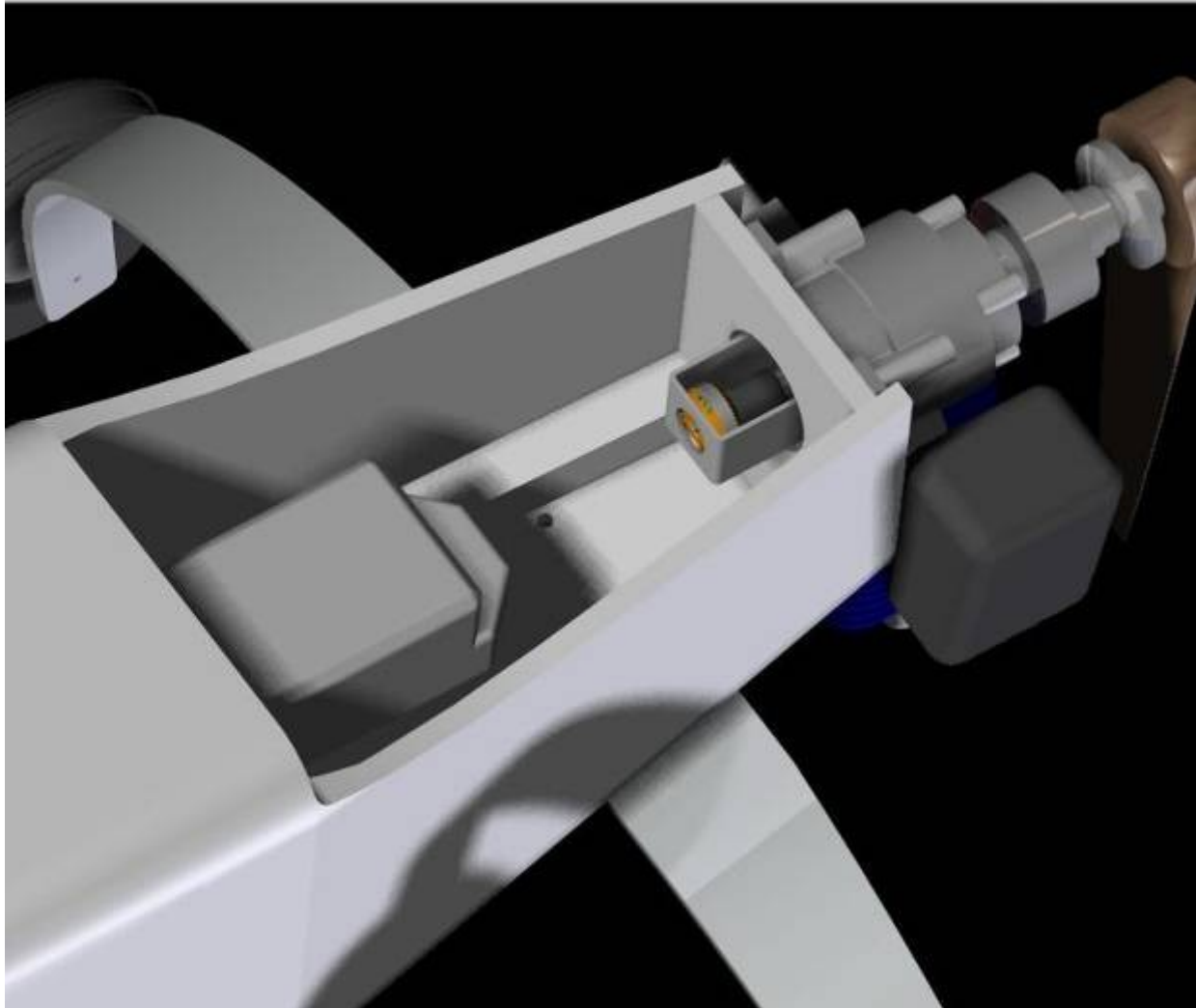
AURA jr C



AURA jr C



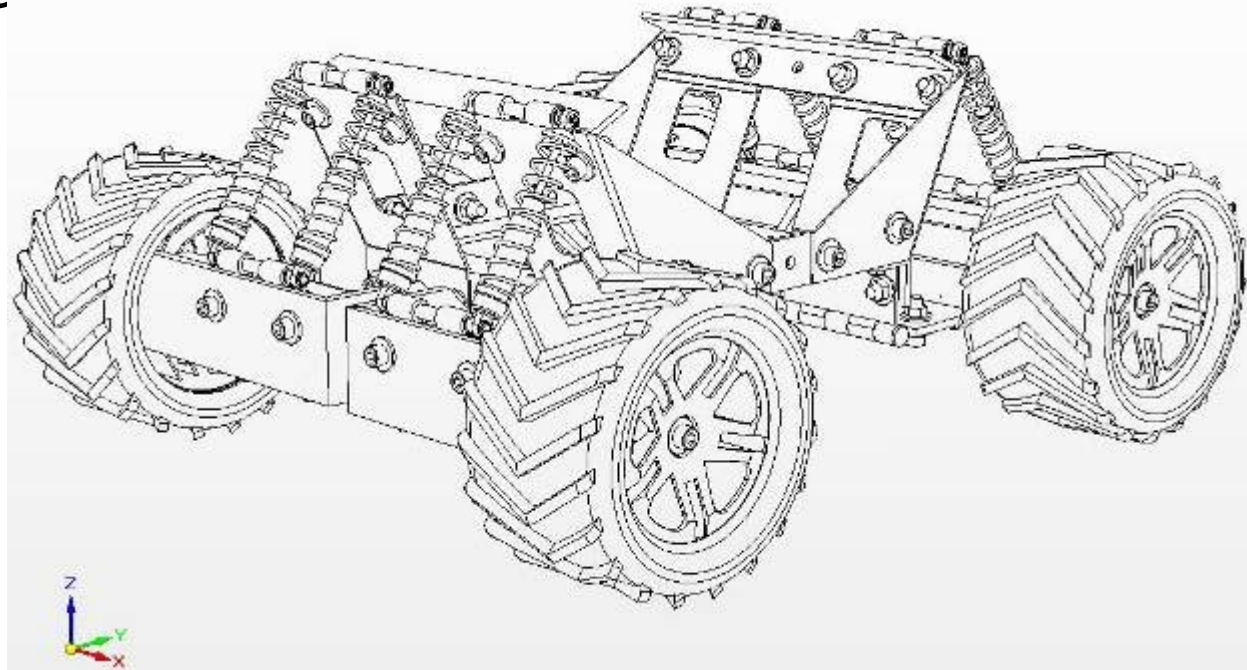
AURA jr C



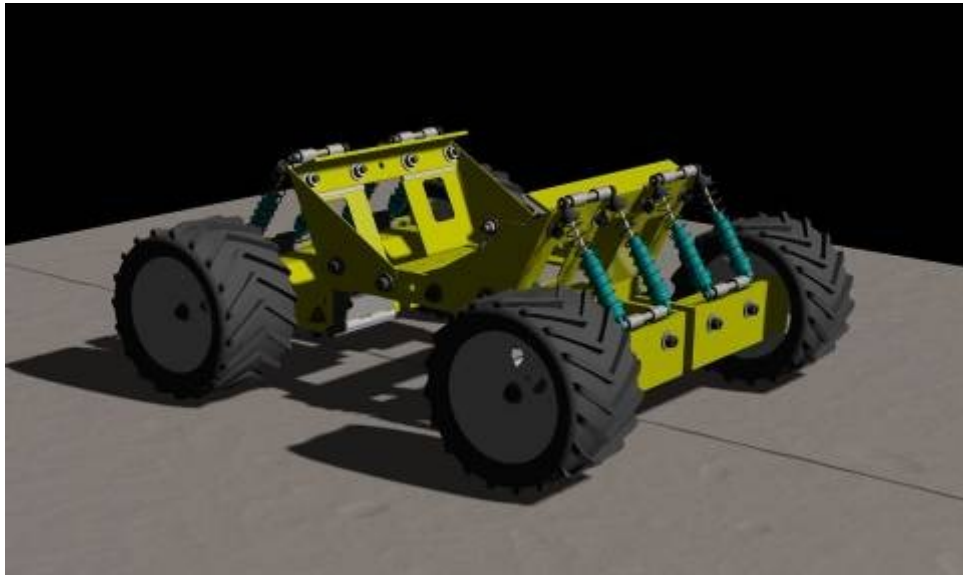
PROYECTOS DE SISTEMAS TERRESTRES NO TRIPULADOS

Proyecto: “Investigación preliminar de un vehículo terrestre no tripulado - UGV”

- Se busca iniciar la investigación en robots terrestres
- Se e



es



Sensores iniciales:

- Cámara
- GPS
- Acelerómetro 3 axial
- Magnetómetro 3

Procesamiento:

- Microcontrolador Coldfire a bordo
- Enlace inalámbrico para comunicación



MINIBAJA

- Se está desarrollando un minibaja para participar en el concurso Baja SAE de Brasil
- A futuro se quiere dotar a este vehículo de autonomía para convertirlo en un UGV



MINIBAJA



CONCLUSIONES

- Los sistemas no tripulados son sistemas robóticos complejos, en su desarrollo todos los componentes son importantes: el diseño mecánico, la instrumentación, desarrollo de hardware y software
- Es fundamental el trabajo interdisciplinario para el desarrollo de sistemas no tripulados
- Para poder diseñar sistemas no tripulados robustos es importante modelar de manera precisa la dinámica de estos sistemas para poder tomar decisiones que garanticen el desempeño deseado
- Cuando no se pueden obtener modelos precisos debe acudirse a experimentación y técnicas de identificación
- El sistema de navegación es clave para el control de los vehículos no tripulados, dependiendo del tipo de sistema deben usarse técnicas de fusión sensorial adecuadas



***MUCHAS
GRACIAS POR SU
ATENCIÓN***