



CEA
comité
español de
automática

Concurso en Ingeniería de Control 2020

Control de la orientación de un
multirrotor

Fase final. Segunda ronda

Organiza el Grupo Temático de
ingeniería de control de CEA

<https://www.ceautomatica.es/ingenieria-de-control/>



Organiza:

Grupo Temático en Ingeniería de Control de CEA



Javier Rico Azagra

Montserrat Gil Martínez

Silvano Nájera Canal

Carlos Elvira Izurategui

Ramón Rico Azagra

Grupo de Ingeniería de Control – Dpto. Ingeniería Eléctrica

Universidad de la Rioja

Patrocinan



Sección
Española



1. Introducción

El concurso de Ingeniería de Control CIC2020 ha consistido en el control de la orientación de un multirrotor sujeto en una estructura que permite el giro libre en sus tres ejes y evita el desplazamiento.

La competición se ha desarrollado en dos fases. La fase clasificatoria evalúa los sistemas de control de los participantes mediante un simulador representativo del sistema real. En la fase final la competición se desarrolla con el multirrotor.

El presente documento muestra los resultados obtenidos en la prueba final, así como la clasificación definitiva del CIC2020.

2.- Equipos participantes

Los tres equipos de la Tabla 1 han competido en la fase final de la categoría 1 del concurso. La categoría 2 ha quedado desierta.

Tabla 1: Equipos competidores en la categoría 1 de la fase final del CIC2020

EQUIPO	ALUMNOS	TUTOR	PROCEDENCIA	ID
UAL_ARM_2	Álvaro Ramajo Ballester José González Hernández	Manuel Berenguel Soria	Universidad de Almería	102
UNIOVI1	Carlos Valdés Ferreira Javier Torres Fernández	Antonio Robles Álvarez	Universidad de Oviedo	103
UNIOVI2	Luisa F. Mahecha Mora Nicolás F. Conde González	Antonio Robles Álvarez	Universidad de Oviedo	104

2. Descripción de las pruebas

Las soluciones de control presentadas a concurso han sido implementadas en la plataforma real para evaluar sus prestaciones. El sistema ha sido excitado con las mismas señales de referencia para los ángulos de orientación que se emplearon en la fase clasificatoria del concurso. En esta ronda final se han evaluado los controladores empleando diferentes tensiones de alimentación de los rotores del UAV: 10V, 11V y 12V, que miden el desempeño cuando las baterías se descargan en un vuelo libre.

Como en la primera ronda de la fase final, se han realizado un total de seis experimentos por cada equipo participante: dos experimentos idénticos para cada uno de los casos (10V, 11V y 12V). Posteriormente, se han evaluado los datos generados por cada sistema de control según las funciones de evaluación que se indicaron en la descripción del concurso, arrojando los resultados de la Tabla 2. Se ha seleccionado el mejor de los dos resultados (menor índice) para cada una de las tensiones y éstos valores (texto en color azul) serán los utilizados para la clasificación final.

Tabla 2: Resultados obtenidos en las pruebas experimentales

ID. EQUIPO	V bat	ROLL				PITCH				ÍNDICE
		IAE	ITAE	IAVU	TOTAL	IAE	ITAE	IAVU	TOTAL	
102	10V	1,109	1,671	0,162	1,145	1,770	3,726	0,468	2,292	1,718
		1,495	2,682	0,157	1,702	1,826	3,872	0,459	2,371	2,037
	11V	1,087	0,952	0,156	0,847	1,777	3,304	0,513	2,135	1,491
		1,270	1,463	0,176	1,128	1,874	3,507	0,518	2,256	1,692
	12V	1,110	1,688	0,183	1,159	1,697	2,713	0,547	1,873	1,515
		1,166	1,273	0,180	1,011	1,790	3,018	0,544	2,032	1,522
103	10V	1,507	1,613	0,141	1,276	0,802	0,761	0,544	0,734	1,005
		1,322	1,423	0,147	1,128	0,828	0,888	0,498	0,786	0,957
	11V	1,416	1,315	0,150	1,224	0,814	0,867	0,632	0,799	0,961
		1,473	1,653	0,154	1,281	0,808	0,535	0,571	0,651	0,966
	12V	1,529	1,721	0,158	1,331	0,857	0,943	0,583	0,837	1,084
		1,410	2,487	0,161	1,591	0,769	0,665	0,573	0,688	1,140
104	10V	1,782	2,299	0,122	1,657	0,968	0,557	0,371	0,684	1,171
		1,441	2,020	0,115	1,408	0,968	0,547	0,389	0,684	1,046
	11V	1,589	2,262	0,120	1,564	0,937	0,512	0,375	0,655	1,110
		1,512	1,923	0,119	1,400	0,917	0,487	0,371	0,636	1,018
	12V	1,496	1,947	0,115	1,400	0,957	0,585	0,385	0,694	1,047
		1,613	1,625	0,130	1,321	0,959	0,557	0,418	0,690	1,006

2. Calificación y clasificación

La calificación final se ha obtenido realizando la media aritmética de las tres puntuaciones seleccionadas para cada tensión de trabajo. Este índice promedio clasifica a los equipos tal que el que consigue un menor valor promedio indica un mejor comportamiento de su sistema de control. La Tabla 3 resume los resultados del CIC2020, que da como **ganador** al equipo 103 de la **Universidad de Oviedo**, formado por los estudiantes **Carlos Valdés Ferreira y Javier Torres Fernández** bajo la tutoría del profesor **Antonio Robles Álvarez**.

Tabla 3. Resultados y clasificación final del CIC2020

ID. EQUIPO	V bat	ROLL				PITCH				ÍNDICE	MEDIA	PUESTO
		IAE	ITAE	IAVU	TOTAL	IAE	ITAE	IAVU	TOTAL			
102	10V	1,109	1,671	0,162	1,145	1,770	3,726	0,468	2,292	1,718	1,575	3
	11V	1,087	0,952	0,156	0,847	1,777	3,304	0,513	2,135	1,491		
	12V	1,110	1,688	0,183	1,159	1,697	2,713	0,547	1,873	1,515		
103	10V	1,322	1,423	0,147	1,128	0,828	0,888	0,498	0,786	0,957	1,001	1
	11V	1,416	1,315	0,150	1,224	0,814	0,867	0,632	0,799	0,961		
	12V	1,529	1,721	0,158	1,331	0,857	0,943	0,583	0,837	1,084		
104	10V	1,441	2,020	0,115	1,408	0,968	0,547	0,389	0,684	1,046	1,023	2
	11V	1,512	1,923	0,119	1,400	0,917	0,487	0,371	0,636	1,018		
	12V	1,613	1,625	0,130	1,321	0,959	0,557	0,418	0,690	1,006		

4. Análisis de los resultados

A continuación, se muestra un breve análisis de los resultados alcanzados por los participantes que, además de en la Tabla 3, se apoya en la siguiente información gráfica. Las Figuras 1, 2 y 3, comparan los resultados obtenidos por cada equipo en el experimento realizado con una tensión de 11 V. Para este experimento, en la [página web del concurso](#) puede consultarse un vídeo ilustrativo del movimiento controlado del multirrotor de forma simultánea para los tres equipos.

Comentarios sobre los resultados:

- **Control del ángulo de roll.** Pese a haber quedado clasificado en tercera posición, el equipo 102 ha logrado el menor índice para el control del ángulo de roll. Este resultado se ha obtenido para el experimento realizado a 11V, donde se alcanza un índice total en roll de 0,847, siendo este valor notablemente inferior al obtenido por sus competidores. Las Figuras 1 y 2 muestran cómo el sistema de control del equipo 102 consigue un menor error de seguimiento, que se hace especialmente patente cuando se cambia la referencia en el otro eje (pitch). Por ello, sus índices IAE e ITAE son inferiores al resto de equipos. En contrapartida, se produce un ligero aumento del índice IAVU.

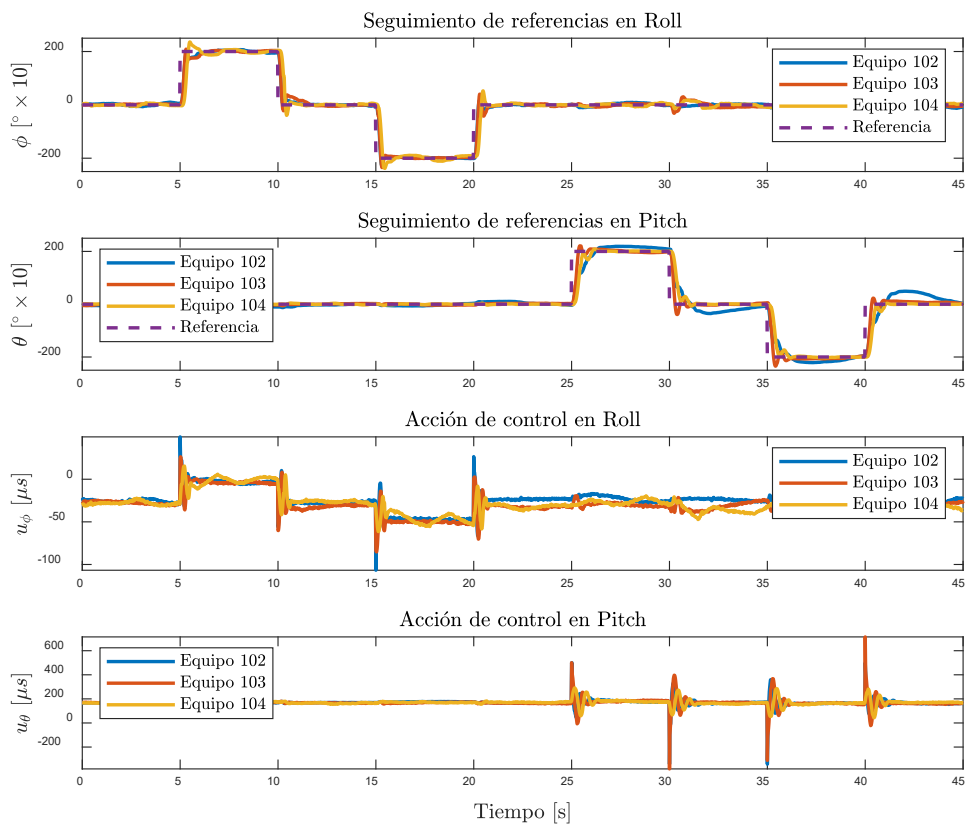


Figura 1: Comportamiento en el experimento realizado a 11V.

- **Control del ángulo de pitch.** En este caso, el equipo 104 es el que ha obtenido un mejor índice de comportamiento. En concreto en la prueba realizada a 11V, donde ha obtenido un índice de 0,636. Tanto en los índices de comportamiento como en las Figuras 1 y 3, puede comprobarse como la acción de control empleada por esta solución de control presenta cambios menos bruscos que las de sus competidores, hecho que le ha permitido disminuir notablemente el índice IAVU. Véase como en este caso, a pesar de no presentar un mejor índice global, el equipo 103 ha obtenido un índice IAE sensiblemente mejor que el equipo 104, no así para el índice ITAE donde el equipo 104 converge más rápido al valor de consigna que el equipo 103.
- **Impacto de la tensión de trabajo del UAV.** En la Tabla 3 puede comprobarse cómo la variación de la tensión de la batería que alimenta al UAV presenta un impacto diferente en el comportamiento del UAV dependiendo de la ley de control utilizada. La solución propuesta por el equipo 102 presenta variaciones notables en el índice de desempeño en función del valor de la tensión de alimentación, pudiendo obtenerse variaciones en el índice global superiores a 0,2 puntos. Sin embargo, los controladores presentados por los equipos 103 y 104 son menos vulnerables a las variaciones de este parámetro.

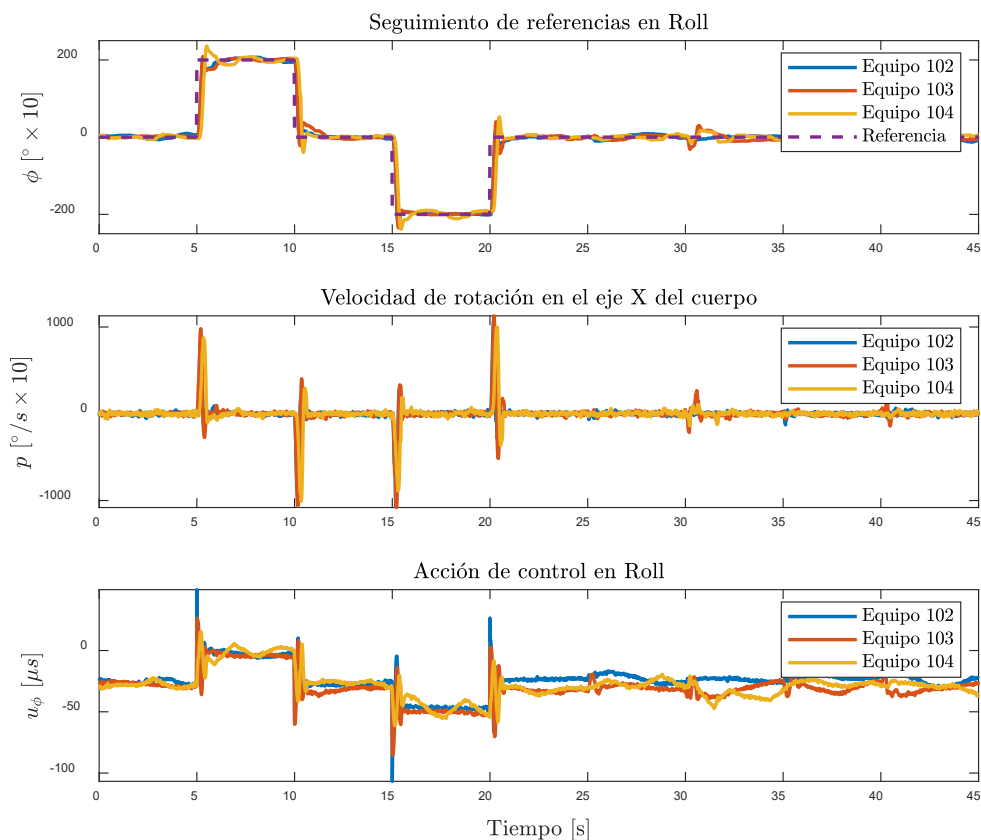


Figura 2: Comportamiento en el control del ángulo de roll

- **Comportamiento e índice globales.** Se puede concluir que los resultados evaluados por el índice global son coherentes y entregan un justo ganador. El índice global penalizaba en 1/3 cada índice parcial, por lo que el conjunto de los errores de seguimiento (IAE y ITAE) tenían un mayor peso que la variación de la acción de control (IAV). La Figura 1 muestra cómo, teniendo en cuenta todo el tiempo del experimento, el sistema de control del equipo 103 frente al equipo 104 corrige las desviaciones angulares más rápidamente empleando una acción de control moderadamente mayor. Por otro lado, valorando el comportamiento en el conjunto de los dos ejes, el equipo 103 es más equilibrado que el 102 en la corrección del error; compárese especialmente la gran diferencia en la rapidez con la que se alcanzan los cambios en el ángulo de pitch.

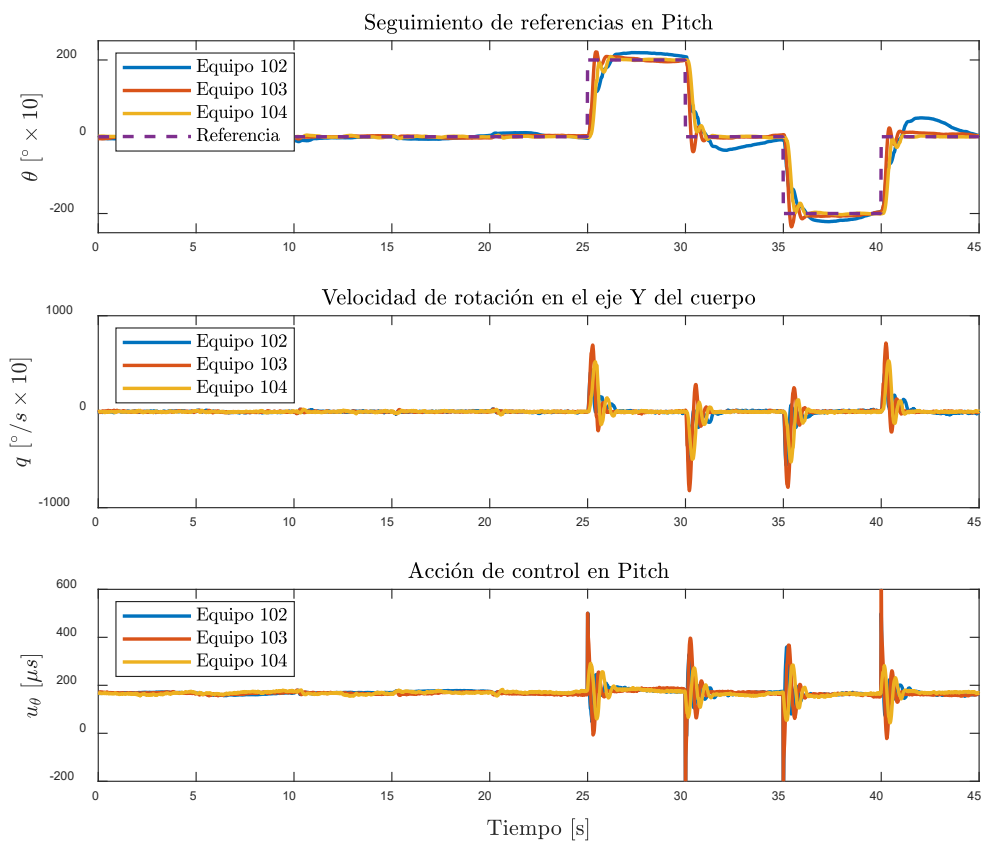


Figura 3: Comportamiento en el control del ángulo de pitch