

Análisis de la sensibilidad a las condiciones meteorológicas de los innovadores vuelos parabólicos de la aeronave CAP10B

Miguel Brigos, Antoni Perez-Poch, Francesc Alpiste, Jordi Torner

Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona, EUETIB. C/ Comte Urgell 187. Barcelona 08036. Tel: +34 934 137 373. Fax: +34 934 137 401. miguel.brigos@upc.edu

Resumen

En estudios previos, utilizamos un software de diseño mecánico CAD *Solidworks Motion*® para simular el movimiento en el entrenamiento de pilotos acrobáticos. Específicamente, se simuló la maniobra de un vuelo parabólico para un pequeño avión con el objetivo de mejorar diferentes aspectos de la maniobra. El simulador se validó con datos experimentales a partir de test de vuelo y se realizó un periodo inicial de entrenamiento con la ayuda de los datos del simulador. Después de esta formación inicial asistida con la simulación, obtuvimos una mejora significativa en la calidad de la gravedad reducida desde $0,1g_0$ a $0,05g_0$.

En este artículo, simulamos los efectos de las condiciones atmosféricas en el vuelo parabólico, con el fin de encontrar el efecto de los vientos transversales en la calidad de la micro-gravedad obtenida. Para conseguirlo, se utiliza un sistema de dinámica de fluidos computacional (CFD) *SolidWorks Flow Simulation*®.

Palabras Clave: Vuelo parabólico, Micro-gravedad, Ráfagas de viento, Simulación.

Abstract

In previous studies we have developed a method based on a simulator for training aerobatic pilots. This simulation is performed with the CAD software for mechanical design *Solidworks Motion*®.

It specifically simulates the parabolic flight manoeuvre for our small aircraft and enables us to improve different aspects of the manoeuvre. The simulator is first validated with experimental data from the test flights. We have conducted an initial intensive period of specific pilot training with the aid of the simulator output.

After such initial simulation-aided training, it was obtained a significant improvement in the reduced gravity quality from $0.1g_0$ to $0.05g_0$.

In this article, we simulate the effects of atmospheric conditions in the parabolic flight, in order to find the effect of crosswinds on the quality of microgravity obtained. To achieve that, a Computational Fluid Dynamics (CFD) system is used *Solidworks Flow Simulation*®.

Keywords: Parabolic flight, Micro-gravity, Wind gusts, Simulation.

1. Introducción

Este estudio nace con la idea de utilizar una herramienta de simulación del movimiento para entornos de ingeniería mecánica, *SolidWorks Motion*®, para realizar el vuelo parabólico de una aeronave. El hecho de crear simulaciones de vuelos parabólicos permite probar los parámetros de vuelo para obtener la máxima calidad y duración de la micro-gravedad, así mismo permite observar como las condiciones externas, también simuladas, afectan a la micro-gravedad obtenida.

Todas las simulaciones se han realizado utilizando los parámetros de la aeronave de vuelo acrobático CAP10B.

Una vez tenemos el vuelo parabólico óptimo podemos afectarlo con los efectos de las condiciones atmosféricas, en este caso se trata encontrar el efecto de los vientos laterales en la calidad de micro-gravedad obtenida.

Para conseguir la fuerza que generan diferentes vientos usamos la herramienta de simulación de fluidos, *SolidWorks Flow Simulation* ®.

2. Descripción del simulador de vuelo

Para modelizar el CAP10B se ha partido de datos del manual del fabricante.

Las variables de vuelo implementadas en el simulador son

- Gravedad (Gravity, G)
- Fuerza de Sustentación (Lift, L)
- Fuerza de Impulso (Impulse, I)
- Resistencia del aire (Drag, D)
- Ángulo de Ataque (Angle of Attack, α)
- Ángulo Actitud (Attitude, Θ)
- Ángulo de Incidencia (Angle of Incidence, i)
- Velocidad relativa del aire. (Airspeed, v)
- Medición de la gravedad relativa en cabina (Relative Gravity, RG)

En la Figura 1 se muestra la pantalla de configuración de SolidWorks Motion.



Figura 1. Configuración del simulador

El modelo en 3D consiste en 4 elementos rígidos:

1. Aircraft, con los parámetros físicos del modelo CAP10B
2. Content, sencillamente una bola de masa conocida ubicada mediante una relación de coincidencia en el centro de masas del Avión. Es posible medir las fuerzas a las que está sometida esta relación y de esa forma conocer la gravedad relativa del Contenido del Avión.
3. Dir-Control<1>, Su posición sigue la dirección del viento (Relative wind) y se calcula en base a la velocidad del Avión, permite variar la dirección de la Fuerza de Sustentación.

4. Dir-Control<2>, su posición se asigna por tabla siendo uno de los parámetros de pilotaje del avión (Angle of Attack, α). Su posición, interpolada en cualquier momento de la simulación, se utiliza para calcular la magnitud de la Fuerza de Sustentación.

El modelo del Simulador de Movimiento se compone de los siguientes elementos activos:

1. Gravity (9.81m/s²)
2. Fuerza de Sustentación (Lift)
3. Fuerza de Impulso (Impulse), simula la acción del piloto
4. Motor Dir-Viento (Wind), posiciona el elemento Dir-Viento
5. Motor Actitud (Attitude, Θ), fuerza la Actitud del Avión (Aircraft Attitude), simula la acción del piloto
6. Motor Ataque (Attack), posiciona el elemento Dir-Ataque utilizado para obtener el Ángulo de Ataque (Angle of Attack, α) en la fórmula de la Sustentación (L). Simula la acción del piloto
7. Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Drag), resistencia parásita (Parasitic Drag) del aire

3. Condiciones de entorno

Los sistemas de simulación utilizados son configurados con parámetros que representan las condiciones de los vuelos experimentales realizados con el CAP10B.

3.1. Sobre el vuelo parabólico

La maniobra comienza a una altitud de 1000m AGM (Altitude above Ground Level), y a una velocidad de 260km/h. El diferencial de altitud durante una parábola es de 200m.

En el caso de atmosfera estable, en el simulador se obtendrá una parábola de duración de 15s y el máximo de micro-gravedad de 0,007g₀, siendo g₀ la gravedad en la tierra.

3.2. Sobre las condiciones atmosféricas

El viento no es más que aire en movimiento, normalmente se utiliza el término viento cuando se refiere al movimiento horizontal, y turbulencias al vertical.

Para la denominación de la intensidad del viento utilizaremos la Escala Beaufort adaptada a velocidades.

Tabla 1. Escala Beaufort de velocidades.

Nº Beaufort	Velocidad del viento (Km/h)	Denominación
0	0 - 1	Calma
1	2 - 5	Ventolina
2	6 - 11	Brisa muy débil
3	12 - 19	Brisa Ligera
4	20 - 28	Brisa moderada
5	29 - 38	Brisa fresca
6	39 - 49	Brisa fuerte
7	50 - 61	Viento fuerte

8	62 - 74	Viento duro
9	75 - 88	Muy duro
10	89 - 102	Temporal
11	103 - 117	Borrasca
12	> 118	Huracán

Para clasificar el pico máximo de velocidad de una ráfaga de viento se utilizará la Escala Beaufort desde el número 0 al 5, puesto que 35Km/h es el límite máximo de la intensidad de viento especificada en el manual de vuelo del CAP10B.

Dado que el diferencial de altitud durante la parábola es de solo 200m se consideran constantes las propiedades del aire durante la maniobra, tomando como referencia los valores de la International Standard Atmosphere (ISA) a 1000m de altitud.

4. Descripción del simulador de fluidos

Con el programa SolidWorks Flow Simulation® se realiza este tipo de análisis para obtener el Drag generado por el flujo del aire alrededor del avión virtual.

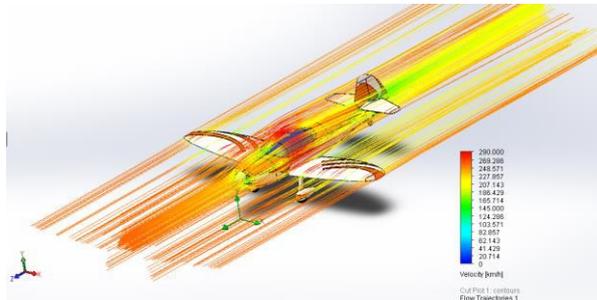


Figura 2. Flujo de aire alrededor del CAP10B

La velocidad inicial del aire se define por sus componentes (X, Y, Z). El eje Z está alineado con eje longitudinal del avión.

En la Figura 2 se observa, en diferentes colores, el gradiente de velocidad a lo largo de las líneas del flujo de aire. La velocidad inicial del aire, respecto al modelo en 3D del CAP10B, es de 260Km/h en el eje Z.

4.1. Sin ráfagas de viento

Se considera que si no hay ninguna ráfaga de viento los componentes de la velocidad inicial serán (0, 0, 260) Km/h.

Para obtener el componente del efecto de una ráfaga de viento en la Resistencia del Aire (Drag), se suman las velocidades (X, Y, Z), correspondientes a la intensidad y dirección de la ráfaga, a los valores del caso de referencia. Los valores de fuerza Drag obtenidos se restan de los obtenidos en el caso sin ráfagas:

$$D_{\text{ráfaga}} = D_{(\text{referencia} + \text{ráfaga})} - D_{\text{referencia}} \quad (1)$$

4.2. La dirección del viento

Interesa trabajar con aquella dirección que produzca un impacto mayor en el Drag.

Para ráfagas horizontales el ángulo más relevante es el de 90°, previsible puesto que la superficie aparente del avión en esa dirección es mayor, ver Figura 3.



Figura 3. Resistencia del aire (Drag) en el eje X, viento lateral y horizontal.

Por el mismo motivo en ráfagas verticales la dirección más relevante corresponde al eje Y, ver Figura 4.

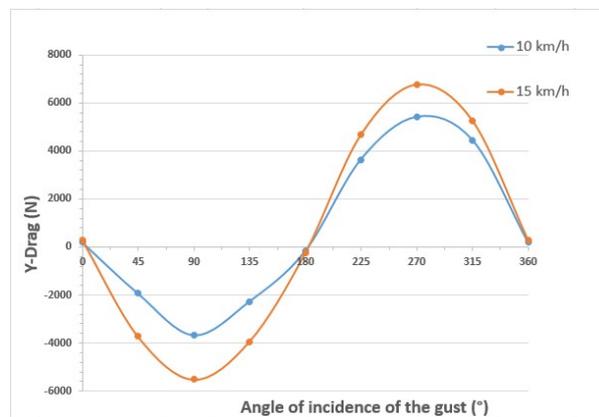


Figura 4. Resistencia del aire (Drag) en el eje Y, viento vertical.

4.3. Resultados en el simulador de fluidos

Los valores de Resistencia del aire obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Es interesante observar que los valores obtenidos en ráfagas verticales son aproximadamente 20 veces superiores a los obtenidos en ráfagas horizontales.

Tabla 2. Máximos valores de pico de la Resistencia del aire (Drag) generados por las ráfagas de viento.

Nº Beaufort	Velocidad del viento (Km/h)	Ráfaga horizontal (N)	Ráfaga vertical (N)
1	5	98	3081
2	10	312	5409
3	15	459	6758
4	25	1030	10702
5	35	1535	14798

5. Influencia de las ráfagas de viento en el simulador de vuelo

Ha sido desarrollado utilizando la herramienta SolidWorks Motion®. El simulador está adaptado a las características del vuelo parabólico realizado con el aparato CAP10B.

Entre otros valores, el simulador permite obtener la aceleración residual en cabina durante la realización de la parábola.

5.1. Aceleración residual sin ráfagas de viento

Este es el caso que nos sirve de referencia para comparándolo obtener la influencia de las ráfagas de viento.

En este caso la atmosfera se supone calma, sin ráfagas de viento, condiciones de la International Standard Atmosphere (ISA).

Los valores de la aceleración residual en cabina, referidos a la gravedad terrestre, en un caso optimizado por el simulador de vuelo se pueden observar en la Figura 5.

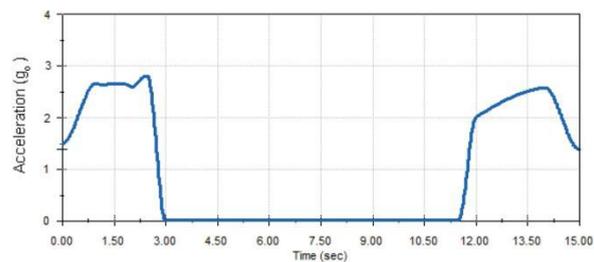


Figura 5. Aceleración en cabina, vuelo parabólico optimizado y sin vientos.

En la Tabla 3 se muestra el detalle de los valores de calidad de micro-gravedad obtenidos. En la tabla también se muestran los valores empíricos obtenidos en vuelos reales.

Tabla 3. Valores de micro-gravedad comparados entre caso real y la simulación.

	Datos empíricos	Simulación optimizada
Tiempo de gravedad reducida (seg)	8,5	8,5
Valor max. de micro-gravedad (g_0)	0,12	0,007
Valor medio de micro-gravedad (g_0)	0,05	0,003

5.2. Simulación del vuelo con ráfagas horizontales

Aplicando las fuerzas obtenidas con el simulador de fluidos (Tabla 2) a 90 grados del eje longitudinal de la aeronave y durante un momento del periodo de gravedad reducida de la parábola, será posible obtener la influencia de un golpe de este tipo de vientos en ese momento, ver Figura 6.

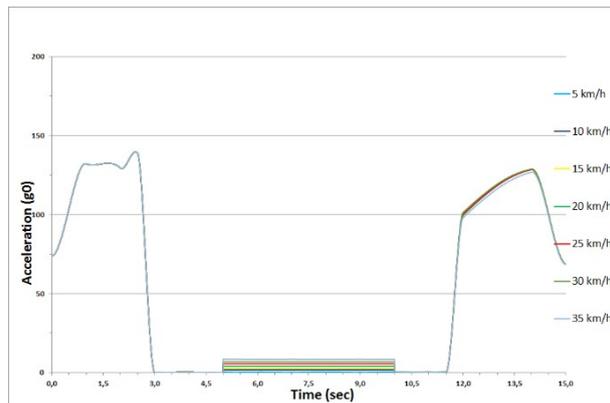


Figura 5. Aceleración en cabina, con ráfagas de viento horizontales.

El detalle de los valores de aceleración residual en caso de vientos horizontales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de aceleración residual con ráfagas de viento horizontales.

Nº Beaufort	Velocidad del viento (Km/h)	Max. Aceleración Residual (g ₀)
1	5	0,009
2	10	0,034
3	15	0,0497
4	25	0,111
5	35	0,168

5.3. Simulación del vuelo con ráfagas verticales

Aquí consideramos la componente de la ráfaga de viento que está en el plano vertical que pasa por el eje longitudinal del avión.

Sabemos que el ángulo que produce un mayor efecto es el perpendicular al eje longitudinal del avión. En el caso del vuelo parabólico y con un viento de dirección vertical, dado que el avión varía su ángulo respecto a la vertical, obtendremos el mayor efecto cuando está en punto más alto de la parábola.

En este caso las variaciones de la aceleración residual son tan grandes que resulta inútil hacer un estudio extensivo.

Aplicando únicamente una ráfaga vertical de 5Km/h en el punto más alto, se obtiene una aceleración residual de 0.49g₀, inadecuada para ensayos de micro-gravedad.

5. Conclusiones

En primer lugar hay que distinguir entre las ráfagas de viento horizontales y las verticales.

Consideramos que las ráfagas de viento relacionadas con los diferentes estados meteorológicos, y a las que se les puede aplicar la clasificación de la Escala de Beaufort, son las ráfagas de viento horizontales.

Se observa que es aceptable realizar vuelos parabólicos con el CAP10B con vientos “Brisa moderada” como máximo (obteniendo aceleración residual entorno a los 0,1g₀).

No es posible realizar vuelos parabólicos válidos, con el CAP10B, con existencia de “térmicas” o “turbulencias”, puesto que producen ráfagas verticales. Estos vientos suelen estar producidos por la orografía del terreno o por sobrevolar terrenos muy calientes.

6. Referencias

1. Pérez-Poch A., Ventura D. “Aerobatic flight: an innovative access to microgravity from a centennial sport”. Paper IAC-08-A2.3-12. 59th International Astronautical Congress. Glasgow, UK (2008).
2. Brigos M., Pérez-Poch A., Alpiste F., Torner J. Ventura D. “Parabolic flights with single-engine aerobatic aircraft: flight profile and a computer simulator for its optimization”. Submitted to Microgravity Science and Technology.
Flight Manual CAP10B APEX Aircraft