

# COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS EN EL ESPACIO (\*)

Por Isidoro MARTINEZ HERRANZ  
Dr. Ingeniero Aeronáutico

El peso de la gravedad sobre sus cuerpos fue el precio que pagaron los primeros seres vivos que abandonaron el Océano, pero tras unos cuantos millones de años de adaptación, ahora nos resulta tan familiar el ambiente que «destacan» los estudios sobre la flotabilidad, la caída de la manzana, las corrientes atmosféricas o el mantenimiento del fuego.

## 1. EL ESPACIO

Los valores científicos del espacio provienen de su vacío material (presión, temperatura y densidad casi nulas) y de su posición privilegiada (observación global de la Tierra, observaciones astronómicas sin la máscara atmosférica, exposición a radiaciones de muy alta energía, etc.).

Un subproducto del vacío espacial es la posibilidad de movimiento con resistencia despreciable, que permite la deriva orbital de los satélites. En estas condiciones las fuerzas másicas son despreciables y los cuerpos parecen flotar en el espacio.

## 2. LOS FLUIDOS

Las sustancias observables están compuestas de partículas que o bien permanecen prácticamente fijas (sólidos) o se mueven con cierta facilidad (fluidos); esta movilidad les hace muy sensibles a las fuerzas másicas.

En los fluidos dispersos, gases, la gravedad ocasiona una estratificación y los componentes más densos se sitúan por debajo de los más ligeros. Cuando natural o artificialmente se intenta alterar esta situación estable (calentando abajo, por ejemplo), aparecen movimientos convectivos, que tratan de restablecer la estratificación natural. Este es el origen de la energía eólica y la causa de que la temperatura en la superficie terrestre sea casi constante.

En los fluidos condensados, líquidos, las intensas fuerzas de interacción están tan finamente equilibradas que el volumen ocupado prácticamente es invariable, aunque se mantiene una considerable movilidad. Si un líquido llena

completamente un recipiente, los efectos del campo gravitatorio son similares a los gases: estratificación, y convección si se intenta violar aquélla. Sin embargo, si el volumen de líquido es menor que el del recipiente, aparecen interfases con otros fluidos (en general, la atmósfera), y la gravedad lleva al líquido a la parte inferior del recipiente, quedando una superficie libre prácticamente horizontal. En realidad no se trata más que de una estratificación del conjunto fluido.

¿Cómo se comportan los fluidos en ingravidez?

## 3. LA INGRAVIDEZ

Suprimida, o mejor dicho equilibrada la fuerza de la gravedad en el vuelo orbital libre, la estratificación del fluido desaparece y con ella las corrientes de convección natural, saliendo a la luz otras fuerzas más débiles que antes se encontraban enmascaradas por «el peso» de la gravedad.

Es lástima que Julio Verne, en su famosa novela «De la Tierra a la Luna», no nos deleitase con un capítulo sobre el manejo de fluidos en ingravidez: cómo se las arreglaban aquellos intrépidos tripulantes para beber, encender fuego, calentar sus alimentos, asearse, etc.

El comportamiento de los fluidos en ingravidez ha interesado siempre a los ingenieros y científicos espaciales, debido a que los motores espaciales suelen usar combustible líquido (y, claro está, es necesario que las bombas aspiren el líquido y no el gas que rellena los depósitos), y también debido a las necesidades de los equipos soporte de vida de los astronautas. Hace unos años surgió un nuevo interés sobre el comportamiento de los fluidos en ingravidez, suscitado por «la fiebre de los materiales»: se querían instalar factorías de producción de materiales valiosos en el espacio. Hoy

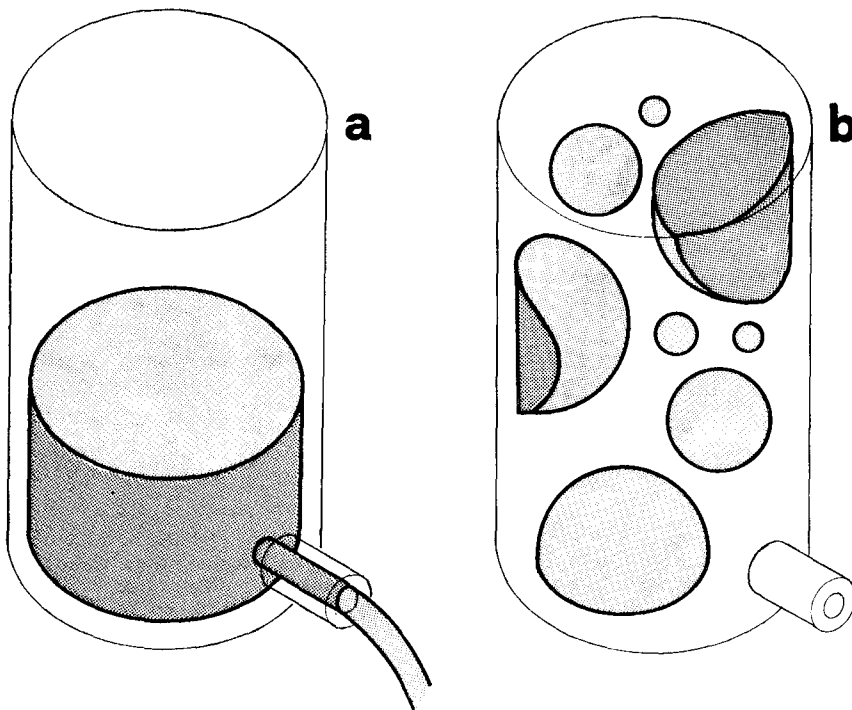
día ya se ha olvidado esa quimera, pero no un subproducto suyo, la Ciencia de los Materiales en el Espacio, que trata de estudiar los fundamentos básicos de la acción de la gravedad terrestre sobre los materiales, naturales y artificiales, de uso común en la Tierra: procesos metalúrgicos, químicos, biológicos, etc.

## 4. MEDIOS DE EXPERIMENTACION EN INGRAVIDEZ

Los métodos en uso para la experimentación en ingravidez son:

- Suspensión de pequeñas gotas en campos electromagnéticos, acústicos o aerodinámicos. Hoy día su uso está principalmente restringido al posicionamiento de gotas en ingravidez.
- Trabajos a pequeña escala (~1 milímetro), ya que las fuerzas gravitatorias son proporcionales al cubo de la longitud, y sus rivales, las fuerzas superficiales, lo son al cuadrado de la longitud.
- Baño neutro de Plateau. Enmascara los efectos dinámicos y condiciona fuertemente las condiciones de mojado.
- Torres de caída libre. Permiten períodos de ingravidez de unos tres o cuatro segundos.
- Vuelo parabólico de avión. Se pueden obtener tiempos de ingravidez de unos diez segundos con aviones convencionales y hasta cincuenta segundos con aviones de caza.
- Cohetes de sondeo. Con tiempos de ingravidez de hasta quince minutos.
- Naves orbitales. Sin restricciones en cuanto al tiempo.
- Módulos orbitales autónomos. Para duraciones superiores a los siete o catorce días del vuelo del Space-lab se usaría un viaje del Shuttle para llevar el equipo y otro posterior para recogerlo.

(\*) Conferencia pronunciada por el autor en la IV Semana de la Aeronáutica y el Espacio, Aerotec 80, Madrid.



El comportamiento de los líquidos cambia radicalmente según se encuentren o no en un campo gravitatorio; en el primer caso (a) la posición del líquido es conocida, presentando una interfase claramente definida, y es sencillo determinar el volumen de líquido remanente en el depósito; no ocurre lo mismo en ausencia de gravedad (b), donde no se conoce la posición del líquido y la evaluación del volumen remanente presenta grandes dificultades.

## 5. NECESIDADES DE EXPERIMENTACIÓN FLUIDODINÁMICA EN INGRAVIDEZ

Algunos de los fenómenos que requieren un estudio en ingravidez son:

### — Hidrostática:

- Situación de las interfases.
- Estabilidad de las interfases.
- Mojado y confluencia de interfases.

### — Hidrodinámica:

- Movimiento de las interfases (chapoteo).
- Movimiento inducido por la interfase (convección de Marangoni).
- Flujo convectivo de masa y energía (dilución de especies, calentamiento, refrigeración, combustión, etc.).
- Dinámica del mojado y desparamiento.
- Biofluidodinámica.

## 6. EXPERIMENTOS EN EL PRIMER SPACELAB

El primer vuelo del Spacelab, previsto actualmente para abril de 1982 (casi dos años de retraso), es un vuelo de pruebas, aunque se piensa realizar unos setenta experimentos europeos

(uno español) y quince americanos. Los condicionamientos político-económicos de esta primera misión han obligado a que tenga un carácter multidisciplinario, con el consiguiente deterioro de las actuaciones de la nave (aceleraciones producidas por los cohetes de control de actitud, tiempos muertos entre diferentes actitudes, etcétera) y de la tripulación, cuyo entrenamiento científico ha de diversificarse excesivamente.

Los experimentos europeos y norteamericanos (hay uno japonés y otro indio) son complementarios. En Astrofísica los europeos usarán radiómetros en la banda de rayos X y los norteamericanos en la ultravioleta, y ambos estudiarán la física de plasmas y la emisión solar. En Geofísica se estudiará el espectro atmosférico y en Biología diversos aspectos de la fisiología humana, en especial el aparato vestibular del equilibrio. Curiosamente, en el área de Ciencia de los Materiales, los experimentos (treinta y seis, entre ellos el español) son todos europeos.

## 7. EXPERIMENTOS FLUIDOMECÁNICOS EN EL PRIMER SPACELAB

Aunque la medida de la presión venosa de los tripulantes no deja de ser un experimento fluidomecánico, nos

ceñiremos a aquéllos que utilizan el Módulo de Física de Fluidos, aparato de precisión desarrollado por FIAT-CRF (financiado por el Gobierno italiano) sobre un anteproyecto español de CASA, en colaboración con el Laboratorio de Aerodinámica de la E.T.S.I. Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid.

Los seis experimentos de la primera misión son:

- Amortiguamiento y resonancia en gotas apoyadas sobre un disco giratorio y vibrante (H. Rodot, París).
- Dinámica del mojado de una superficie sólida por una gota (J. M. Haynes, Bristol).
- Convección generada por gradientes de tensión superficial debidos a campos térmicos y eléctricos (L. G. Napolitano, Nápoles).
- Fuerzas de rotura de películas líquidas (J. F. Padday, Londres).
- Movimiento de líquidos en recipientes parcialmente llenos (J. P. B. Vreeburg, Amsterdam).
- Estabilidad de las zonas flotantes respecto a rotación, vibración, llenado, estirado y desalineación (I. Da-Riva, Madrid).

## 8. EL EXPERIMENTO ESPAÑOL EN EL PRIMER SPACELAB (1)

El experimento en el Spacelab consiste en fotografiar la forma externa y los movimientos en el interior de una zona flotante casi cilíndrica de algo menos de medio litro de aceite cuando se la somete a perturbaciones mecánicas controladas. En la tabla 1 se detallan las diferentes fases de la operación, la cual será llevada a cabo por uno de los dos especialistas de a bordo (el europeo o el norteamericano), siguiendo el plan acordado con los investigadores, con los cuales permanecerán en contacto telefónico directo durante los ensayos.

A grandes rasgos, el programa general de esta investigación es el siguiente:

- Desarrollo teórico.
- Realización de ensayos preparatorios.
- Diseño de las instalaciones.
- Construcción de maquetas y modelos.
- Entrenamiento de los astronautas.
- Experimentación en el Spacelab.
- Análisis de los resultados.

La importancia de este experimento queda justificada por la creciente utilización de las zonas flotantes en la industria y el laboratorio; en efecto, la técnica de las zonas líquidas flotantes está siendo usada ampliamente tanto para el crecimiento de sólidos con estructura cristalina per-

(1) En el núm. 201 (enero 1980) de esta Revista puede encontrarse una descripción más completa de este trabajo.

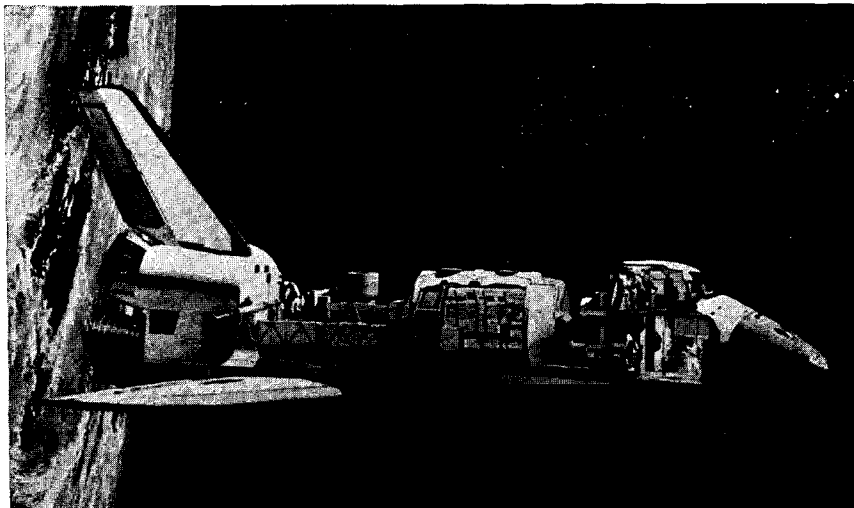
**TABLA 1. DESCRIPCIÓN SECUENCIAL DE LAS OPERACIONES A REALIZAR EN EL EXPERIMENTO 1-ES-331 <sup>a</sup>**

Paso	Designación	Descripción	Tiempo (mín.)	Imágenes fotografiadas
1	Preparación	Verificación, montaje de accesorios.	5	0
2	Llenado	Inyección de líquido y formación de la zona.	5	250
3	Vibración	Transmisión y amortiguamiento de las oscilaciones de un disco.	5	250
4	Rotación	Transporte de masa por centrifugación.	5	250
5	Contrarrotación	Capa de cortadura entre dos discos en contrarrotación.	5	250
6	Isorrotación	Rotación como sólido rígido.	5	250
7	Desalineación	Centrifugado por no paralelismo de los ejes de giro.	2	50
8	Parada	Inestabilidades en la parada de la rotación.	3	100
9 <sup>b</sup>	Rotura	Rotura controlada de la zona líquida por estrangulamiento.	3	250
10 <sup>c</sup>	Recogida	Recuperación por coalescencia de la mayor parte de líquido.	5	550
11	Limpieza	Lavado, secado, limpieza y desmontaje.	10	0

<sup>a</sup> Se realizarán dos ensayos similares con líquidos de diferente viscosidad.

<sup>b</sup> Si hubiese película se filmaría a mayor velocidad.

<sup>c</sup> Si hubiese tiempo suficiente se repetiría la rotura.



fecta como para la purificación de materiales de alto punto de fusión. Como es sabido, los metales se obtienen tradicionalmente con la ayuda de un crisol y una fuente térmica mediante la cristalización de fundidos; sin embargo, esta técnica proporciona materiales de muy bajas características, debido a las imperfecciones en la estructura cristalina que aparecen durante el proceso de solidificación, imperfecciones que se deben a impurezas en el fundido, contaminación por el crisol y la atmósfera, corrientes de convección libre, etc. El caso de mayor interés se presenta en la obtención de materiales semiconductores, en especial silicio, cuyo mayor industrial es extraordinario.

## 9. EL FUTURO DE LA INVESTIGACION FLUIDOMECANICA EN INGRAVIDEZ

Como indicábamos anteriormente, los planes actuales de investigación en el espacio están cambiando: las ciencias tradicionalmente espaciales (Astrofísica y Geofísica) van dejando paso a nuevas disciplinas de estudio (Biología y Materiales), y las investigaciones tecnológicas en este último campo han cedido ante la imperiosa necesidad del conocimiento científico de los procesos básicos que controlan fenómenos del mayor interés en la Tierra.

La ESA abrió en 1978 el turno de propuestas para investigación en los futuros vuelos del Spacelab, ofreciendo el Módulo de Física de Fluidos como equipo disponible.

La NASA ha abierto en 1980 el correspondiente turno de propuestas de investigación utilizando el Sistema de Experimentos con Fluidos, una especie de módulo de ensayos con fluidos cinco veces mayor que el europeo, concebido con una filosofía diferente, que irá también en los vuelos posteriores del Spacelab.

Para este mismo período (1983-1985), la ESA está seleccionando tres o cuatro experimentos de física educativa para realizar en el Spacelab, con objeto de facilitar la comprensión de fenómenos usualmente enmascarados por las fuerzas gravitatorias o que aprovechen otra de las valiosas condiciones espaciales. Aunque la selección final no se llevará a cabo hasta después de este verano, una de las propuestas preseleccionadas es española (I. Martínez y J. Meseguer), y consta de una serie de demostraciones prácticas, sobre el tema central de la estratificación y convección natural, tales como la filmación de la llama de una vela, el humo de un cigarrillo, la ebullición, la convección generada por un radiador doméstico, etc.