

LABORATORIO ESPACIAL SPACELAB

Experimento español en el módulo de física de fluidos

Dentro de año y medio se efectuará el primer lanzamiento del Spacelab, el laboratorio espacial de construcción totalmente europea.

Durante su primera misión se realizará un experimento diseñado por españoles, dentro del módulo de física de fluidos.

La Agencia Espacial Europea (ESA), con sede en París, que cuenta en la actualidad con once países miembros, entre ellos España, se creó oficialmente en 1975 tras la fusión de los dos organismos espaciales europeos previos, ESRO Y ELDO, con el objetivo de facilitar y promover la colaboración entre los Estados europeos en materia de ciencia y tecnología espacial para usos exclusivamente pacíficos.

De los dos grandes proyectos acometidos por la Agencia — existe además un programa de satélites científicos y de aplicaciones con siete satélites lanzados, cinco actualmente en órbita, y otros once en fase de definición y desarrollo—, uno de ellos, el cohete lanzador Ariane, ha superado ya la etapa de pruebas.

El Consejo de la Agencia ha aprobado recientemente la construcción de un total de once vehículos lanzadores. El otro gran programa es el laboratorio espacial *Spacelab*, resultado de la cooperación de la Agencia Espacial Europea con la Administración Nacional para la Aeronáutica y el Espacio (NASA), que se encuentra en un estado de desarrollo muy

avanzado: la NASA ha anunciado como fecha del primer lanzamiento el 18 de abril de 1982.

El *Spacelab* será la primera carta de pago del vehículo lanzador reutilizable *Sapce Shuttle*, desarrollado por la NASA, que consiste en una nave de mando capaz de aterrizar como un avión convencional, el *Orbiter*, al que se le añaden para el despegue un gigantesco depósito de combustible y dos cohetes auxiliares de combustible sólido.

El *Spacelab*, diseñado y construido totalmente en Europa, irá alojado en la bodega de carga del *Orbiter*. Después del lanzamiento, una vez desprendidos los cohetes auxiliares y el depósito exterior de combustible, el *Shuttle* entrará en una órbita baja de estacionamiento a unos 250 kms. de altura sobre la superficie terrestre. En ese momento se abrirán las compuertas de la bodega, quedando el laboratorio espacial dispuesto para la misión. Durante todo el vuelo, siete días inicialmente, el *Spacelab* permanecerá anclado al *Orbiter* mientras los científicos realizan los experimentos; finalizados

**Isidoro Martínez Herranz
y José Meseguer Ruiz**

LAMF-E.T.S.I.A.

Universidad Politécnica
de Madrid.

éstos se cerrarán las compuertas de la bodega y se procederá a la reentrada y aterrizaje sobre la superficie terrestre, donde ambas naves serán reacondicionadas para nuevas misiones.

El *Spacelab* es una nave espacial no autónoma formada por una cabina habitable, conectada mediante un túnel de acceso a la nave nodriza, *Orbiter*, donde estará la vivienda de las tripulaciones de ambas naves, y una o varias plataformas exteriores de carga. El diseño general del laboratorio espacial responde a una concepción modular, lo que permite disponer de una nave muy versátil y fácilmente adaptable a los requerimientos de cada misión en concreto. La misma filosofía rige en el interior de la cabina, donde cada banco de trabajo, con un volumen útil de 0,8 metros cúbicos, constituye un módulo intercambiable dotado de su propio microprocesador, lo que simplifica enormemente la tarea de preparación e integración de los diversos equipos de experimentación.

El programa de vuelos del *Spacelab* se iniciará con una primera misión de carácter multidisciplinario, a la que

seguirán otras monográficas, dos de ellas dedicadas específicamente al estudio de fenómenos relacionados con la ingravidez y otras dos misiones catalogables bajo los títulos de Geofísica y Astronomía, respectivamente. No es posible, por el momento, asignar un calendario definitivo para los vuelos siguientes al primero, pues, a juzgar por lo ocurrido con la primera misión, —casi dos años de retraso—, es de esperar que los problemas de financiación existentes en la actualidad impongan considerables retrasos en el calendario oficial de vuelos.

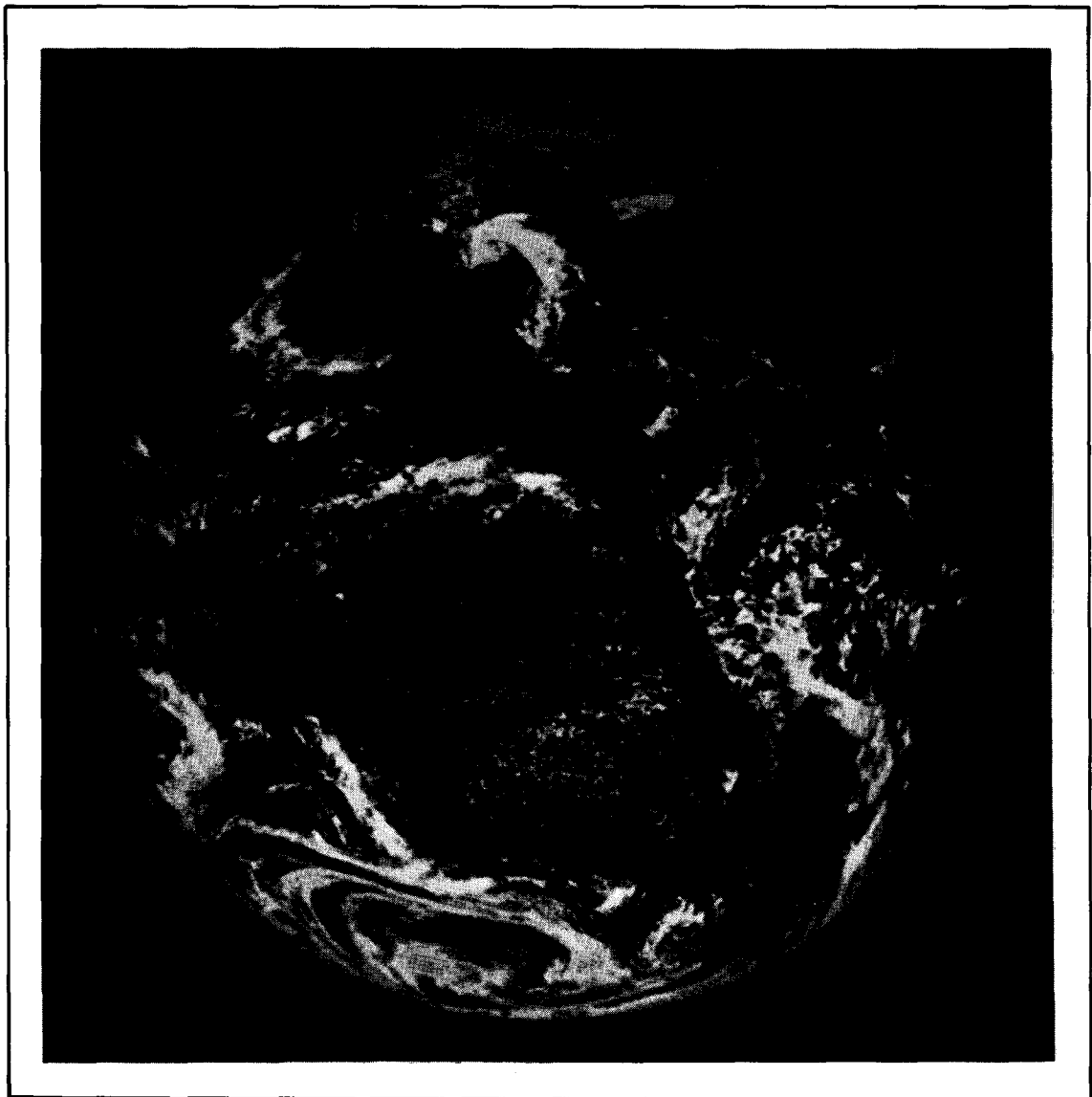
En resumen, el Spacelab proporcionará a científicos y técnicos un laboratorio donde realizar sus experimentos en condiciones de gravedad prácticamente nula, a la par que un inmejorable observatorio astronómico y terrestre.

Además, el proyecto Spacelab-Space Shuttle permitirá reducir drásticamente los costes y tiempos requeridos para la investigación espacial, a la vez que permitirá que los experimentos sean realizados directamente por científicos y técnicos sin un entrenamiento completo como astronautas.

El módulo de física de fluidos (FPM)

Uno de los equipos disponibles para la experimentación dentro del área de ciencias de los materiales es el FPM. En este módulo se realizará una amplia gama de experimentos en condiciones de gravedad reducida, entre ellos el español, ensayando masas líquidas contenidas en recipientes o confinadas por la tensión superficial.

Los trabajos de definición del módulo comenzaron en 1975 con un anteproyecto de la



El planeta azul en el espacio, mostrando el océano Pacífico, el continente americano y la circulación atmosférica.

Características generales de las naves Space Shuttle y Spacelab

SPACE SHUTTLE Sistema formado por el ORBITER, semejante a un avión, más un depósito exterior y dos cohetes auxiliares.	SPACELAB Nave de construcción modular formada por una cabina y plataformas exteriores de carga.
ORBITER	CABINA
Longitud 37.4 m.	Longitud de cada segmento 2.70 m.
Altura (incluido el estabilizador vertical) 14.5 m.	Diámetro 4.06 m.
Masa total 68.000 Kg.	
DEPOSITO EXTERIOR	PLATAFORMAS
Longitud 47.4 m.	Longitud 2.90 m.
Diámetro 8.1 m.	
Masa total 742.000 kg.	SPACELAB
COHETES AUXILIARES	Longitud máxima 18.3 m.
Longitud 44.2 m.	Masa total 11.340 kg.
Diámetro 4 m.	Carga útil 5.500-9.100 kg.
Masa total 1.025.000 kg.	Duración del vuelo 7-30 días (máx.)
SHUTTLE	Vida media 10 años ó 50 vuelos
Masa total al despegue 1.906.000 kg.	Tripulación 2-4 personas
Carga útil 29.500	Voltaje disponible (28 V CC ó 115/220 V AC a 400 Hz) 3.6-5.1 kW
Vida media 100 vuelos	Capacidad de almacenamiento de datos 50 Mbits/s
Tripulación 3 personas	
Orbita 200-500 km.	

empresa española Construcciones Aeronáuticas, S. A. (CASA), en colaboración con el Laboratorio de Aerodinámica y Mecánica de Fluidos (Lamf) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos (ETSIA). El diseño definitivo y la construcción del FPM quedó después en manos de la empresa italiana FIAT, ya que fue el Gobierno italiano quien se ofreció a sufragar los gastos del proyecto FPM —del orden de quinientos millones de pesetas—. En la actualidad ya han finalizado los ensayos de aceptación realizados con el modelo de ingeniería y se ha iniciado la construcción del modelo de vuelo.

El FPM consiste, básicamente, en un par de discos entre los que se puede colocar, —inyectando a través de uno de ellos—, una masa de líquido cuyo comportamiento se desea estudiar bajo la acción de las fuerzas de tensión superficial y de otros efectos impuestos: perturbaciones mecánicas, campos eléctricos, gradientes térmicos, etc. etc.

Uno de los discos, donde se realiza la inyección del líquido, puede desplazarse axialmente y girar, y el otro puede desplazarse lateralmente, girar y vibrar axialmente. El disco de inyección lleva incorporada una resistencia eléctrica, y cada disco está aislado eléctricamente. De

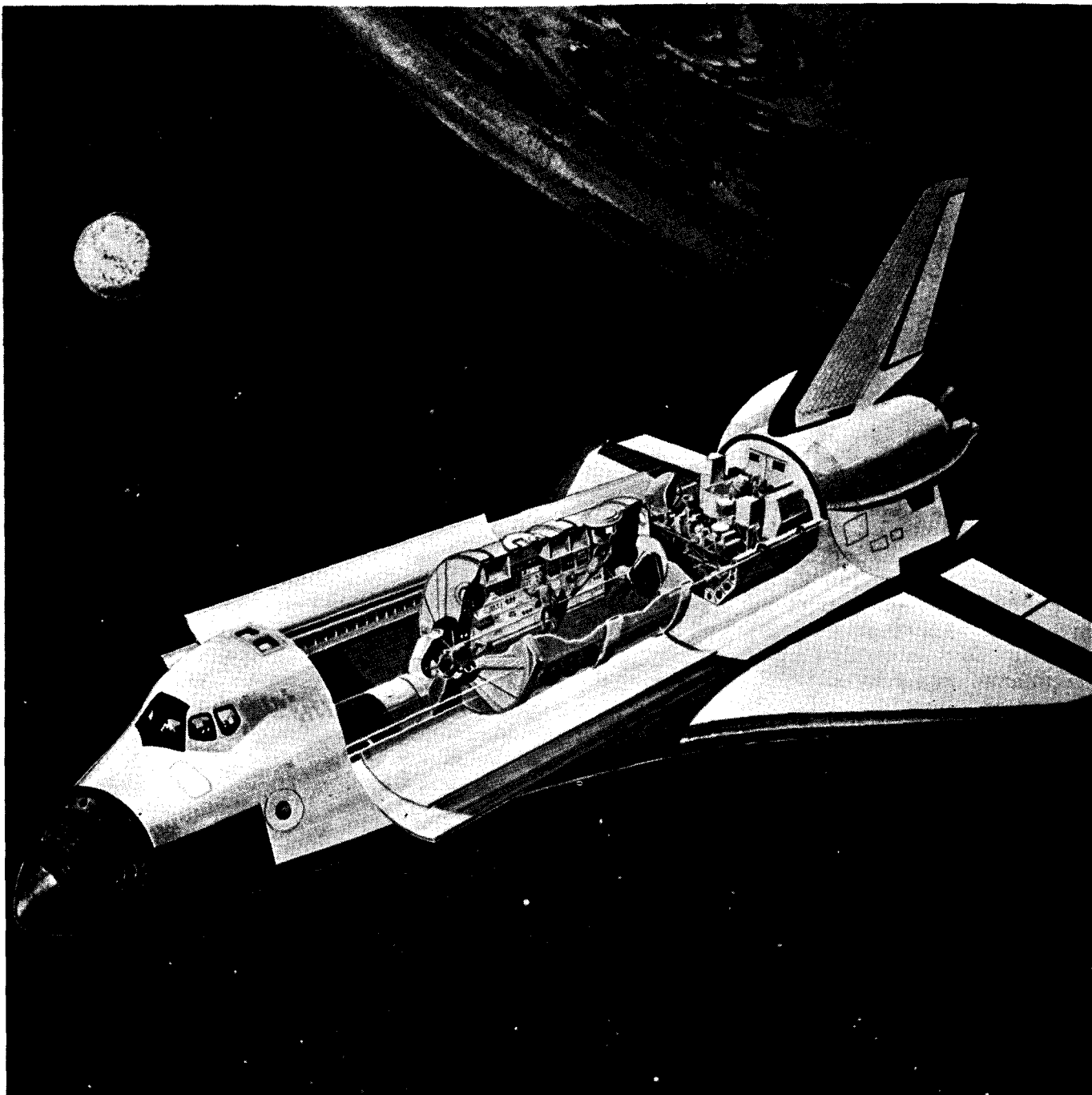
esta forma es posible establecer gradientes de temperatura en la zona líquida y diferencias de potencial entre los discos.

El módulo dispone también de un sistema de visualización y registro de imagen. La visualización se realiza utilizando trazadores sólidos, microesferas cerámicas huecas con un diámetro próximo a la décima de milímetro. El sistema de filmación permite fotografiar simultáneamente el campo de velocidades y la forma externa de la zona líquida en experimentación. La disposición de las cámaras de cine y el sistema de iluminación están diseñados de modo que una de las cámaras proporcione la visión en un plano meridiano y la otra en un plano paralelo a los discos. Obviamente, este sistema es el más crítico, pues prácticamente toda la información sobre los experimentos deberá obtenerse de las imágenes filmadas durante los ensayos realizados en vuelo. El análisis de las fotografías —unas 25.000 para el total de experimentos en el FPM en este primer vuelo— será uno de los problemas más importantes después de la misión.

El FPM lleva incorporado además un sistema de limpieza de la cámara de ensayos mediante chorros parietales de aire, que también puede ser utilizado para enfriar la cámara tras un excesivo calentamiento debido al sistema de iluminación o al calor producido en algunos experimentos.

El experimento español

El único experimento español que se va a realizar en el primer vuelo del Spacelab tiene por objeto el estudio experimental de la estabilidad de las zonas líquidas flotantes. A finales de 1974, respondiendo a una proposición de ideas para la primera misión Spacelab lanzada por la ESA, el profesor



Situación en órbita del conjunto Orbiter-Spacelab.

I. Da-Riva, catedrático de Aerodinámica de la ETSIA, remitió lo que más tarde, en 1976, pasaría a ser la propuesta formal de investigación experimental sobre el comportamiento de columnas líquidas en condiciones de ingravidez. El experimento propuesto fue seleccionado por la Agencia y codificado definitivamente como 1-ES-331, bajo el título *Floating Zone Stability in Zero Gravity*.

Paralelamente a la aceptación del experimento por parte de la Agencia comenzaron en el LAMF los estudios teóricos sobre zonas líquidas flotantes junto con los experimentos de comprobación en tierra, y posteriormente la preparación del experimento: definición secuencial, plan de entrenamiento de los astronautas, etc.

La importancia del experimento queda justificada por la

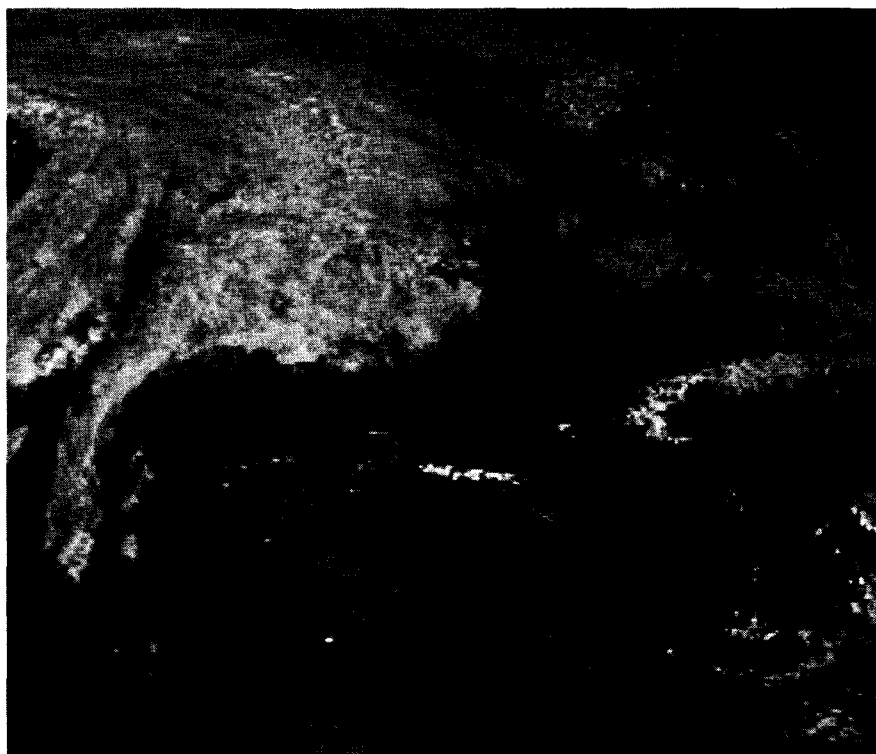
creciente utilización de las zonas flotantes en la industria; en efecto, la técnica de las zonas líquidas flotantes ha sido usada ampliamente tanto para el crecimiento de sólidos con estructura cristalina perfecta como para la purificación de materiales de alto punto de fusión. Como es sabido, los metales 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, etcétera. Se estima que en los materiales actualmente en uso sólo se aprovecha una ínfima parte de sus posibilidades.

Cristales mas perfectos

Con la llegada de los materiales semiconductores se hizo imprescindible mejorar los métodos de producción para obtener cristales más perfectos, lo que motivó la puesta a punto de nuevos métodos de crecimiento cristalino, entre los que cabe destacar el de Czochralski, en la década de los cincuenta y el de la zona líquida, en los sesenta. Este último proceso es usado actualmente en la producción de metales refractarios puros, tales como niobio, molibdeno, tántalo y wolframio, metales que, a sus elevadas temperaturas de fusión, reaccionan con cualquiera de los materiales usados para crisoles e incluso con el aire. La ventaja de este último método es la no necesidad de crisol, ya que el material fundido es confinado únicamente por fuerzas de tensión superficial. En ambos métodos la cristalización se inicia a partir de un germen de cristal puro. En el primero, el germen se va retirando de la superficie del fundido con una velocidad igual a la de avance del frente de solidificación en la pequeña columna líquida, y en el segundo la zona fundida va avanzando a lo largo de la barra al desplazar longitudinalmente la fuente de calor.

En un laboratorio terrestre, la longitud máxima de una columna fluida suspendida



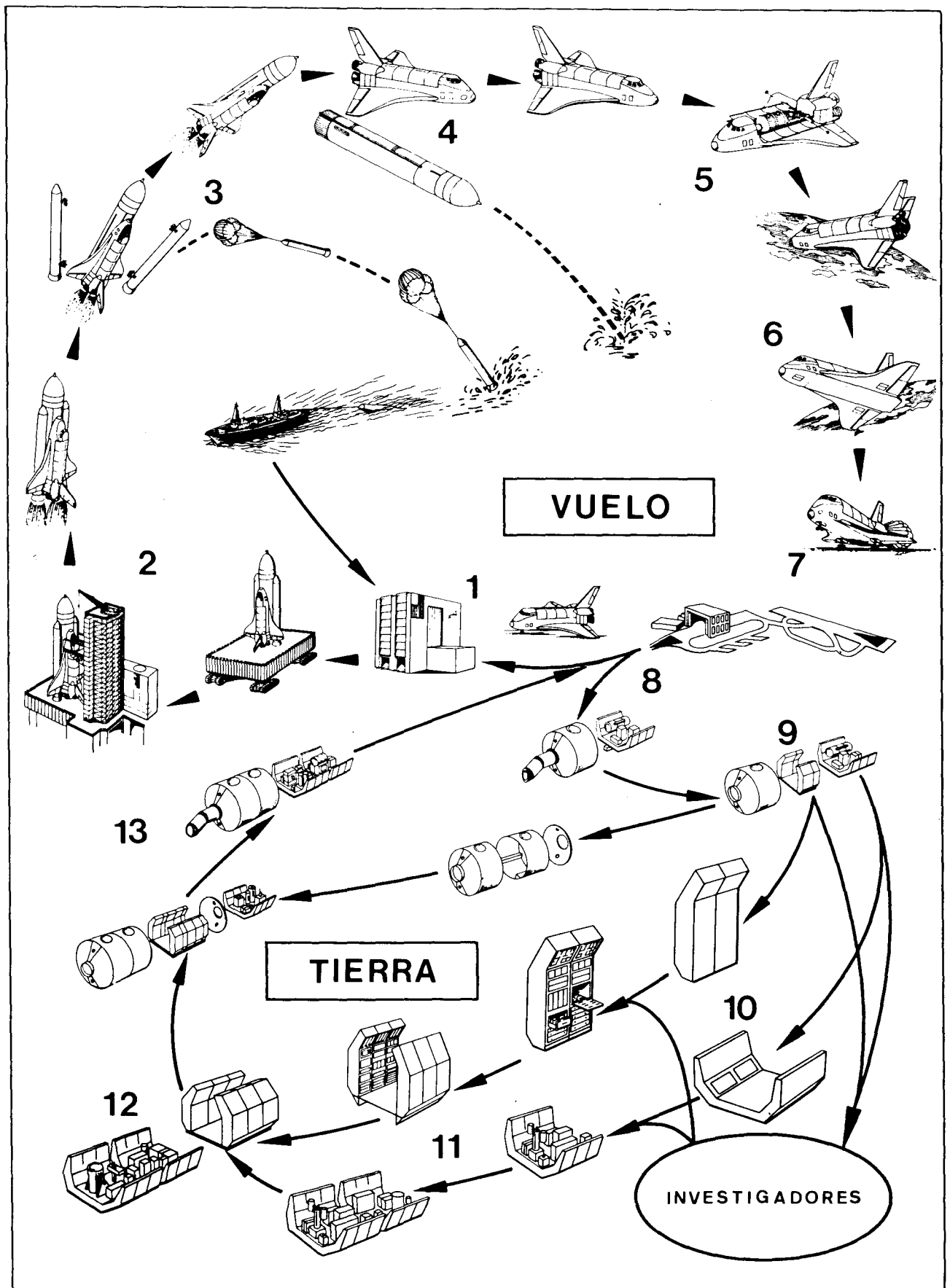
Observación de la tierra desde uno de los satélites meteorológicos de la Agencia Especial Europa.

verticalmente está determinada por el balance entre la presión hidrostática, que aumenta desde el límite superior de la zona fundida, y las fuerzas de tensión superficial. La gravedad terrestre limita, pues, la altura de las zonas líquidas, que raramente puede sobrepasar unos pocos milímetros. Por el contrario, el trabajo en condiciones de gravedad reducida disminuye en gran medida las restricciones

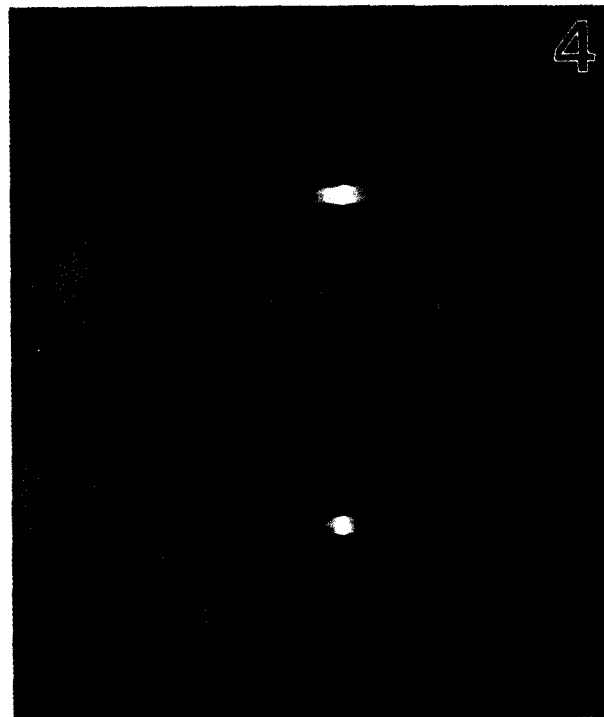
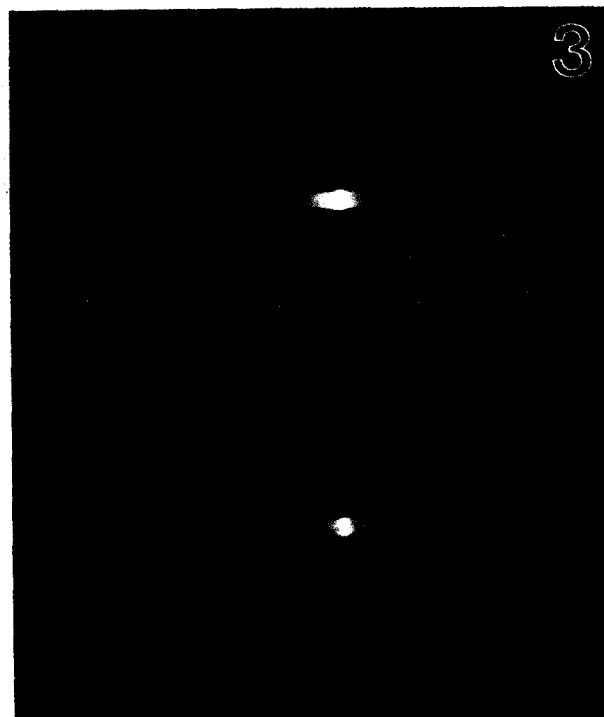
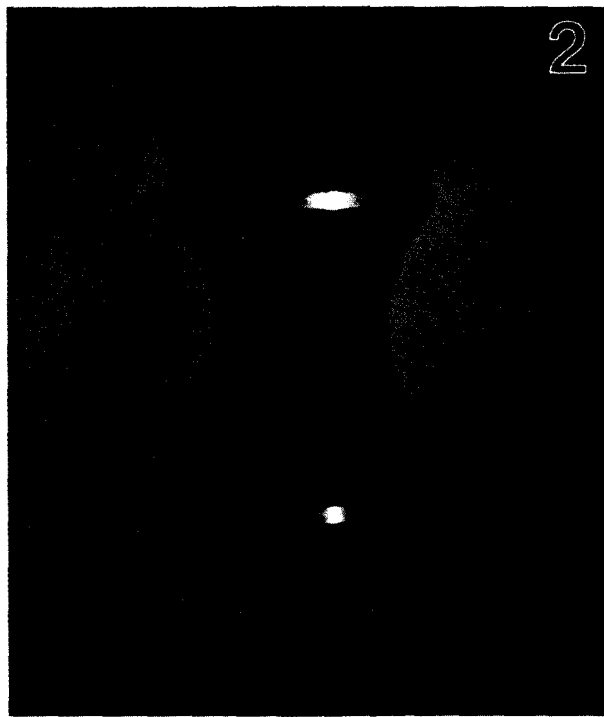
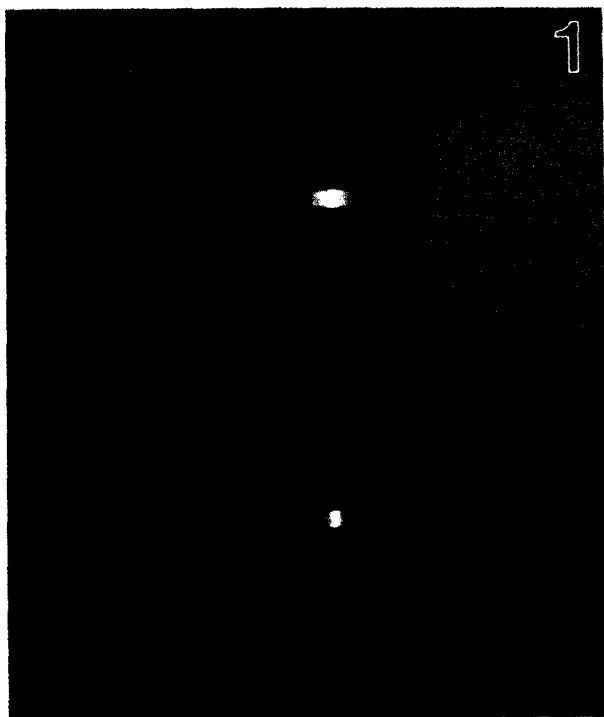
impuestas a la longitud máxima de la zona flotante, permitiendo una mayor libertad en el manejo que en tierra. En el espacio, la única fuerza que determina la superficie libre de un líquido en reposo es la tensión superficial. La ausencia de gravedad permite que las masas líquidas, de no estar adheridas a algún sólido, puedan formar gotas flotantes de volumen tan grande como se quiera, o que, en el caso de que el líquido mojara una

Experimentos en el primer vuelo del Spacelab

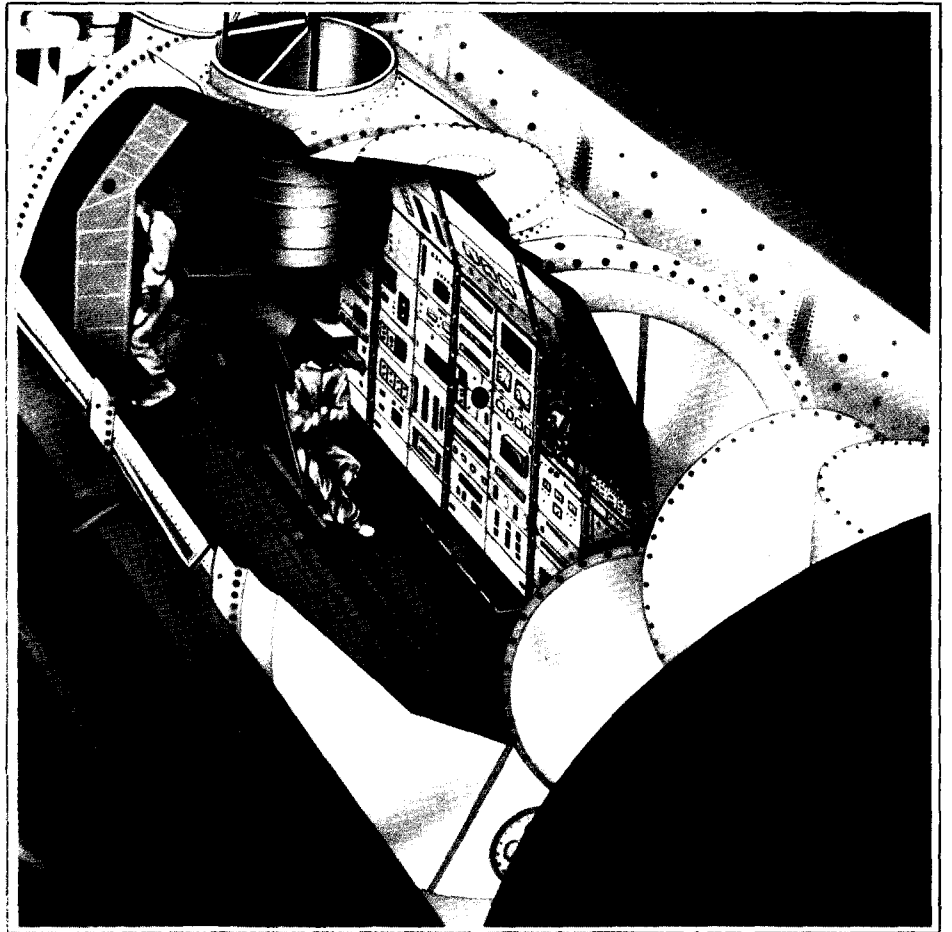
AREAS		ACTIVIDADES	Número de Experimentos
Biología y Medicina		Fisiología y Cultivos	9
Ciencias de los Materiales	Gases	Condensación	1
	Líquidos	Convección, Capilaridad, etc.	10
	Sólidos	Solidificación	30
Geofísica		Plasmas y Recursos Terrestres	7
Astrofísica		Corona Solar y Astronomía	6



Perfil de las misiones Space Shuttle/Spacelab: 1. Centro de montaje del Space Shuttle. 2. Lanzamiento. 3. Desprendimiento de los cohetes auxiliares recuperables de combustible sólido. 4. Desprendimiento del depósito exterior no recuperable. 5. Inserción en órbita y desarrollo de la misión. 6. Reentrada en la atmósfera. 7. Aterrizaje. 8. Centro de verificación y reacondicionamiento del Orbiter. 9. Desmontaje del Spacelab, los experimentos son remitidos a los investigadores. 10. Mantenimiento y reconfiguración de los diversos componentes del Spacelab. 11. Integración global. 12. Montaje y verificación del Spacelab, que se instala de nuevo en la bodega del Orbiter para la siguiente misión.



Rotura de una columna líquida flotante obtenida por el método de Plateau



*Area de trabajo
en el laboratorio
espacial*

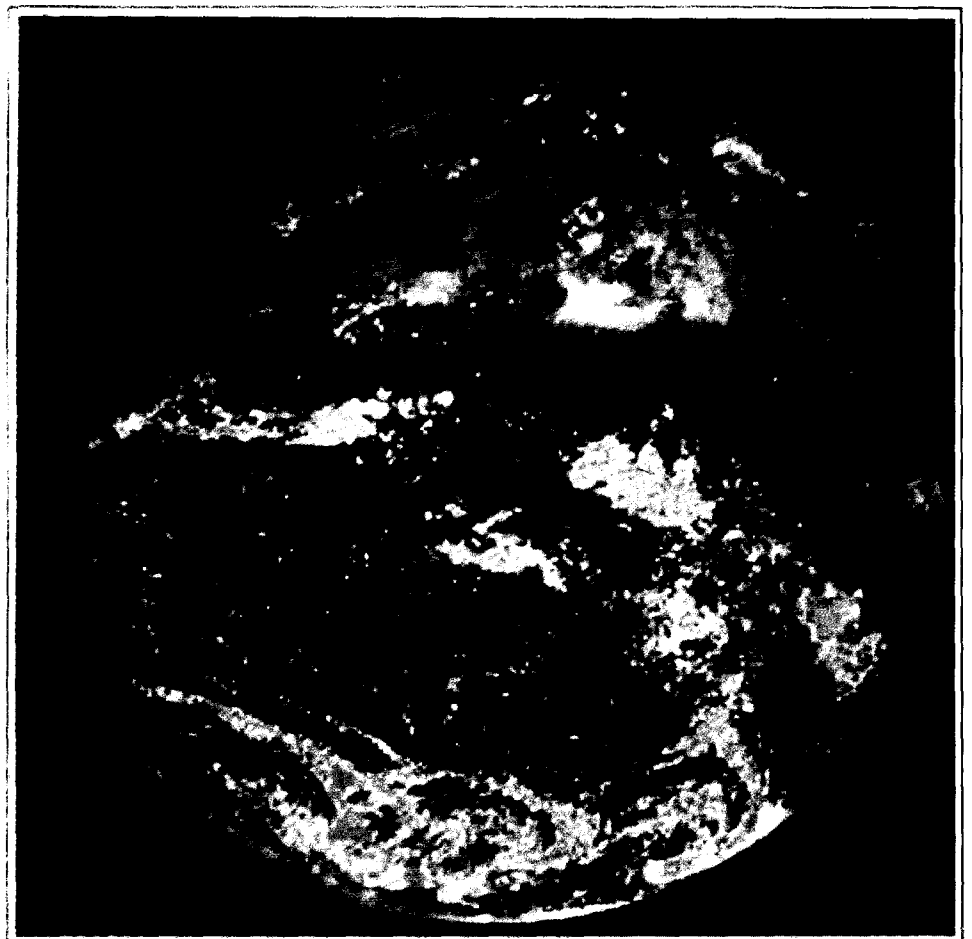


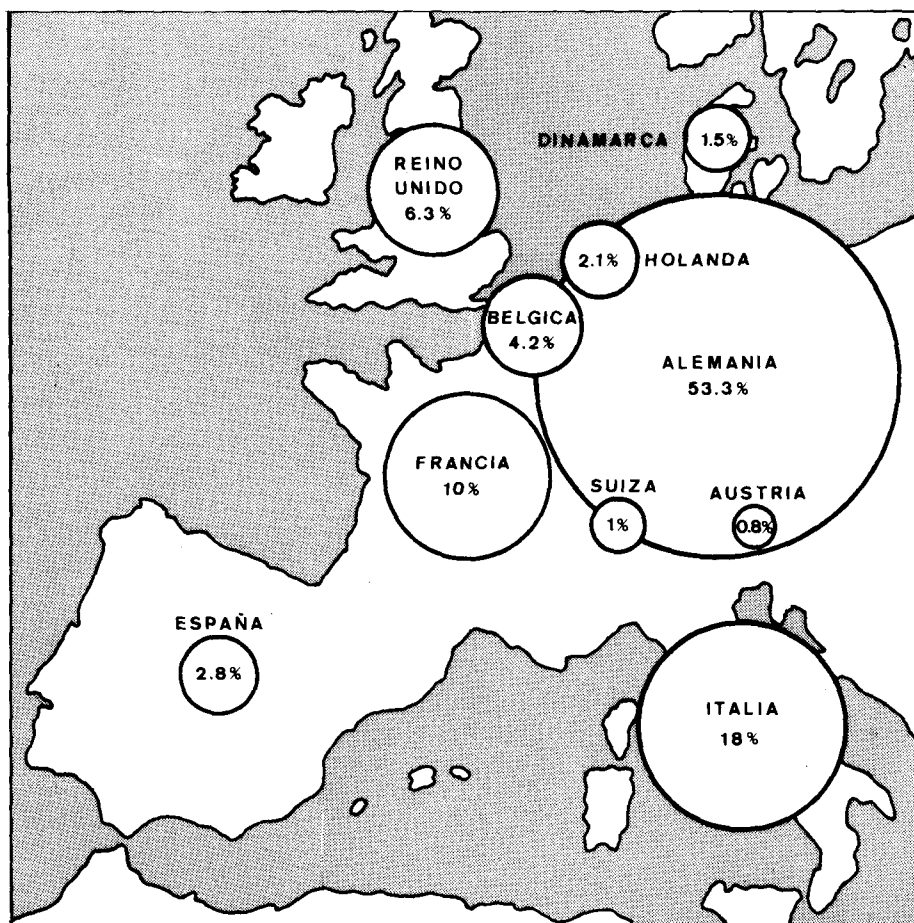
Imagen de la Tierra

superficie sólida, se pudiera extender indefinidamente por todas las superficies de la nave, sean *horizontales* o *verticales*, con las únicas limitaciones impuestas por el volumen de líquido y los ángulos de contacto (es decir, la capacidad de mojado del líquido); por ejemplo, en el espacio sería imposible mantener aceite en una botella abierta, pues, con el tiempo, el aceite saldría por el cuello de la botella mojando indistintamente las superficies interior y exterior.

Investigación sin gravedad

Aunque existen procedimientos para simular en tierra la ausencia de gravedad —baños isométricos de flotabilidad neutra y levitación electromagnética o electroacústica— todos ellos presentan fuertes restricciones en cuanto a líquidos a utilizar y a las condiciones de experimentación. Otra posibilidad de minimizar los efectos gravitatorios sería actuar a escala microscópica, pero esta técnica presenta otros inconvenientes. Indudablemente, la mejor manera de estudiar la respuesta del líquido en ingravidez es conseguir la ingravidez misma (es decir, la cancelación de las fuerzas máxicas gravitatorias con las de inercia en un movimiento acelerado), para lo que existen varios procedimientos: caída libre desde torres o globos aerostáticos, vuelo parabólico de aviones, cohetes de sondeo y naves orbitales, pero de todos ellos sólo las naves orbitales permiten tiempos de utilización tan grandes como los requeridos en la experimentación con zonas flotantes.

La entrada en funcionamiento de laboratorios espaciales internacionales donde poder investigar sobre nuevos materiales y nuevos procesos de producción, así como la necesidad de conocer mejor



Países europeos participantes en el programa de desarrollo y construcción del laboratorio espacial Spacelab.

Experimentos a realizar en el Módulo de Física de Fluidos en el primer vuelo del Spacelab

Código	Investigador Principal	Experimento
1 - ES - 326	H. Rodot (Francia)	Amortiguamiento viscoso y resonancias.
1 - ES - 327	J. M. Haynes (Inglaterra)	Cinética del mojado de sólidos.
1 - ES - 328	L. G. Napolitano (Italia)	Convección por gradiente de tensión superficial.
1 - ES - 329	J. F. Padday (Inglaterra)	Fuerzas moleculares en ingravidez.
1 - ES - 330	J. P. B. Vreeburg (Holanda)	Movimiento acoplado de sistemas sólido-líquido.
1 - ES - 331	I. Da-Riva (España)	Estabilidad de las zonas líquidas flotantes.

ciertas técnicas ya en uso, son algunas de las causas del creciente interés entre la comunidad científica sobre el comportamiento de los líquidos en ingravidez, lo que ha motivado la aparición de importantes programas de investigación en este campo. Uno de ellos es el español, con el que se intenta estudiar de un

modo genérico la respuesta de la zona líquida a diversas sollicitaciones; unas, controladas, y otras, accidentales, que pudieran producir perturbaciones indeseadas e incluso el colapso del puente líquido, donde se presenta el proceso de rotura de una zona flotante.

Las fotografías se han realizado en el LAMF y

muestran una zona obtenida por el método de flotabilidad neutra. La columna es de aceite de lubricación con una densidad inferior a la del agua, sumergida en un baño mezcla de alcohol metílico y agua, de igual densidad que el aceite.

Aunque queda fuera del ánimo de esta publicación exponer en detalle las particularidades del experimento y la labor realizada en el LAMF en relación con el tema en estos últimos años, si quisiéramos ilustrar esta exposición con un breve resumen cronológico de los estudios y ensayos realizados y una descripción secuencial del experimento a realizar en el Spacelab, incluyendo, para el lector interesado en el tema, una lista de publicaciones aparecidas en los últimos años en relación con las zonas líquidas flotantes.

Futura participación española en el programa de utilización del Spacelab

En 1978, ESA abrió el plazo admisión de propuestas de experimentación para el segundo y siguientes vuelos del Spacelab y, en el primer turno de propuestas, de las 219 solicitudes presentadas, vuelve a haber solamente una propuesta española (continuación del experimento 1-ES-331)

En 1979, en respuesta a la proposición del Consejo de Física Educativa en el Espacio de la ESA, invitando a la participación de las universidades y centros de enseñanza europeos en el programa de utilización del Spacelab para la realización de experimentos de carácter educativo en el espacio, entre las propuestas preseleccionadas sigue habiendo sólo una española: *Candle Flame*, propuesta por los autores de este artículo, cuya

finalidad es ilustrar, con fines educativos, los fenómenos de combustión, difusión y convección.

No está claro el porqué de esta baja participación española en el programa científico europeo de utilización del Spacelab, máxime cuando por parte de la citada agencia son todo facilidades. Las causas pudieran ser falta de información o, lo que sería mucho más grave, desinterés y desánimo frente a la gran cantidad de interrogantes que se presentan ante un posible experimento a realizar, en particular, sobre los medios

disponibles, pero quizá esto no sea un eximente para la comunidad científica española.

Sería necesario fomentar la participación española en los programas internacionales de investigación espacial y para ello es vital prestar el máximo de ayuda e información. Esperamos que este artículo pueda servir al menos para paliar en parte este problema.

Finalmente, deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE), organismo responsable de la financiación del experimento 1-ES-331.■

Medios para conseguir períodos de ingravidez y duración de los mismos

PROCEDIMIENTO	DURACION
Caída libre en torres de vacío	Algunos segundos
Caída desde globos estratosféricos	Decenas de segundos
Vuelo parabólico de aviones	Algunos minutos
Cohetes de sondeo	Hasta 15 minutos
Vuelo orbital	Prácticamente ilimitada

