

GRAVEDAD, MICROGRAVEDAD Y EXPERIMENTACIÓN

ALGUNAS REFLEXIONES SOBRE LA GRAVEDAD

La fuerza de la gravedad y su influencia en la fisiología y la vida humana es expuesta como preámbulo de la explicación de experimentos efectuados en gravedad cero y microgravedad, creadas artificialmente en la tierra, concebidos con el objetivo de revelar fenómenos que no pueden observarse en condiciones normales. La participación de un científico colombiano en estos experimentos y las excelentes relaciones de cooperación internacional con Francia, abren las puertas a la posibilidad de cooperación entre investigadores de ambos países, para realizar campañas conjuntas en este tipo de experimentación.

Mauricio Hoyos, PhD., HDR.
Laboratoire de Physique
et Mécanique des Milieux
Hétérogènes
Ecole Supérieure de
Physique et Chimie
Industrielles
10 rue Vauquelin, 75231
Paris, France
hoyos@pmmh.espci.fr

La estabilidad mecánica del sistema solar, obedece a una interacción compleja entre las aceleraciones centrífuga y gravitacional. La estabilidad del cuerpo humano sobre la tierra, depende también de una interacción compleja entre el sistema cuerpo-tierra donde intervienen también, la rotación de la tierra, la presión y la temperatura. Nuestros cinco sentidos son utilizados cuando la materia se presenta bajo la forma de masa, teniendo en cuenta algunas excepciones como los objetos transparentes que pueden tener una gran masa pero la vista no nos permite detectarlos. Cuando la materia se presenta bajo la forma de energía, definida en forma convencional, por ejemplo de luz, de calor, etc., básicamente son la vista y el tacto quienes nos permiten identificar ese estado de la materia. Pero ¿cuál de los sentidos nos permite sentir lo que llamamos gravedad? Realmente es difícil de decir pues la fuerza gravitatoria es lo que llamamos en física una fuerza de volumen -existen fuerzas de superficie- o sea que todo el cuerpo es afectado. Podríamos decir, sin pretender plagiar a Ortega y Gasset, “yo soy yo y mi campo gravitatorio”. La gravedad parece ser efectivamente la propiedad que posee la materia para atraerse. Esta propiedad, esta demostrado, depende de la cantidad de materia o sea de la masa. La fuerza gravitatoria es despreciable cuando las masas en interacción son del orden de magnitud de la de un ser humano, esto hace que no necesitemos hacer esfuerzos para alejarnos los unos de los otros y que la dependencia de la fuerza gravitatoria con el inverso del cuadrado de la distancia entre los dos cuerpos no es manifiesta en la vida cotidiana. La tierra sin embargo, tiene una masa suficiente para crear un campo gravitatorio de fuerza descomunal con respecto a la fuerza generada por el campo de un objeto de masa humana, esta situación nos hace pensar que solamente la tierra nos atrae y no nosotros a ella. Sobre la tierra, el peso y la fuerza gravitatoria tienen casi el mismo valor pues la aceleración centrífuga de la tierra es muy pequeña frente a la de la gravedad. La gravedad como propiedad de la materia nos sitúa al mismo nivel que cualquier objeto, nosotros para la tierra

FOTO: STOCKXPRT.

Planeta
Tierra
Oceanía

somos objetos “semi-sueltos” cuyo destino es permanecer atados a ella.

La gravedad influencia la mayoría de los procesos de la naturaleza como el crecimiento de las plantas, la circulación sanguínea, la lluvia, etc. Pesar los objetos hace parte de la vida cotidiana, también hace parte de la cotidianidad el utilizar nuestros músculos para mover objetos pesados sin estar concientes de que una parte de ese esfuerzo es utilizado para mover nuestros propios brazos, piernas y para mantener el cuerpo erguido. De esto estamos concientes solamente cuando estamos muy cansados o débiles, cuando sentimos el gran esfuerzo que debemos hacer para levantar el brazo y rascarnos la nariz.

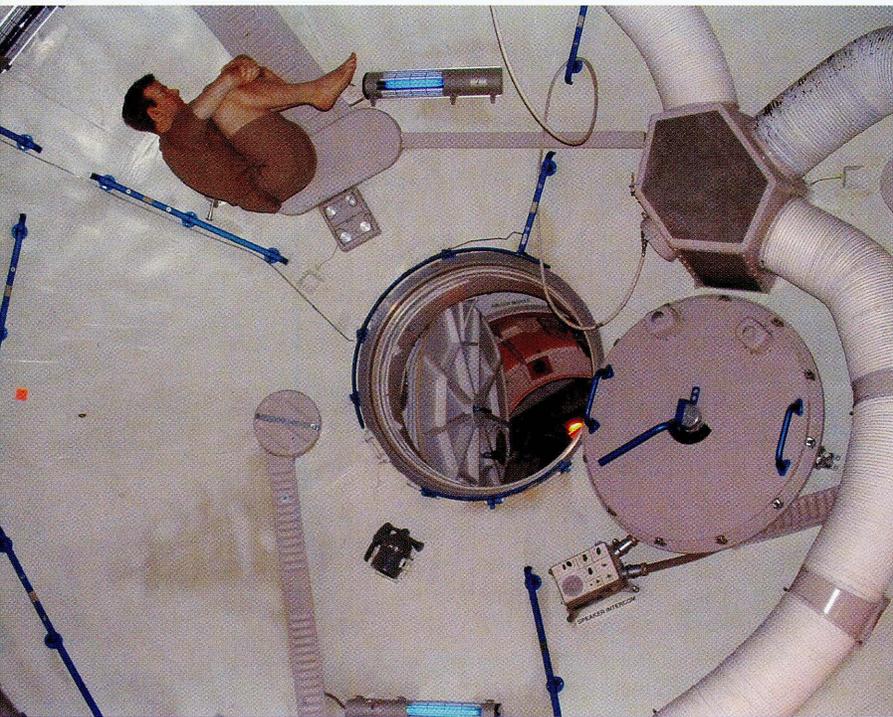


FOTO: STOCK/EXPERT.

¿Cómo crear la ingravidez en la tierra?

A diferencia de los campos eléctrico y magnético, el campo gravitatorio no puede ser ni neutralizado ni reducido en forma notable, ese campo es omnipresente, solamente podemos, por decirlo así, eclipsarlo. El vector aceleración de la gravedad tiene siempre la misma dirección hacia el centro de la tierra. En forma natural podemos solamente modificar el efecto de la gravedad sobre nuestro cuerpo cuando pasamos de la posición vertical a la posición horizontal o cuando nos inclinamos con un ángulo cualquiera, pero no podemos eliminar-

lo. La única forma de eliminar la influencia de la gravedad durante largos períodos de tiempo es contrabalanceándola y eso se puede lograr solamente en el espacio girando alrededor de la tierra creando una aceleración centrífuga igual a la aceleración de la gravedad, como lo hacen la estación espacial internacional o los satélites artificiales. Para conservar su equilibrio, la velocidad de rotación del objeto debe estar calculada en función de su distancia a la tierra.

Para hacernos una idea, primero sobre lo que es la ingravidez y segundo sobre lo que podemos sentir en ingravidez, consideremos primero dos personas saltando de una cierta altura, las dos personas caen aproximadamente al mismo tiempo. Si ellas se miran cayendo, no hay desplazamiento relativo, los dos se ven flotando, están en ingravidez. El resto del cuerpo, los órganos internos, el cabello y aún lo que llevan puesto, collares por ejemplo, también caen con la misma aceleración, todo flota. En este ejemplo evidentemente tendríamos que considerar, rigurosamente hablando, la resistencia del aire que modifica la velocidad de caída de los cuerpos en función de su tamaño, en el vacío este ejemplo sería totalmente válido. Para evitar el problema del aire, imaginemos ahora la situación desafortunada de un ascensor en caída libre a causa de un pequeño defecto de fabricación. Los ocupantes caerían con la misma aceleración del ascensor y como se encuentran en un ambiente cerrado, el aire en el interior es arrastrado por el ascensor y la fricción sobre los cuerpos es nula ya que no hay desplazamiento relativo entre el aire y el cuerpo. Con respecto a los muros del ascensor los ocupantes flotarían y disfrutarían, por lo menos durante unos segundos en función de la altura del edificio, de la experiencia extraordinaria de la ingravidez.

Los medios de experimentación en micro-gravedad en la tierra son difíciles de realizar. Existen sin embargo dos dispositivos operacionales capaces de crear condiciones de micro-gravedad entre 10⁻² y 10⁻⁴ veces el valor de la gravedad (~981 cm/s²), pero no de ingravidez total: las torres de caída libre y los vuelos parabólicos. La ingravidez casi absoluta se obtiene saliendo de la tierra, es el caso de las estaciones espaciales cuya aceleración centrífuga equilibra la aceleración de la gravedad terrestre, si no fuera el caso, ella caería.

La Agencia Espacial Europea, ESA, y el Centro Francés de Estudios Espaciales, CNES, sin considerar la colaboración con las otras



FOTO: STOCKVEFERT.

agencias en el mundo, utilizan básicamente cuatro dispositivos donde se puede experimentar en microgravedad: los dos ya mencionados, torres de caída libre y vuelos parabólicos, éste último lo presentaremos en forma más detallada, y dos que utilizan el espacio extra-terrestre: los cohetes sonda y las cápsulas fotón.

Existen varias torres de caída libre que permiten obtener condiciones de microgravedad entre 2 y 6 segundos. La torre de Bremen en Alemania tiene 145m y permite una caída libre de 109m correspondientes a 4.74s de microgravedad, con una precisión $\Delta a/a \leq 5 \times 10^{-12}$ donde Δa es la diferencia entre la aceleración de la gravedad y la del objeto. Para lograr esto, un vacío importante tiene que ser logrado en el interior de la torre. Experimentos impor-

tantes como la demostración del principio de equivalencia masa inercial-masa gravitacional han sido llevados a cabo. Los cohetes sonda, no habitados, tipo MASER o TEXUS por ejemplo, son utilizados para disponer de más tiempo de microgravedad ya que se puede alcanzar hasta 7 minutos, donde se pueden realizar alrededor de cinco experimentos diferentes. El cohete es enviado desde la base de lanzamientos de Esrange situada en Kiruna en Suecia y sale de la tierra para alcanzar unos 250 km. de altura. Experimentos que estudian la turbulencia interfacial en líquidos que se evaporan en microgravedad o la influencia de la microgravedad en el metabolismo celular, han sido llevados a cabo. En 2008, participaremos en un experimento que será realizado en el cohete MASER 11, donde

Transbordador
Espacial.



FOTO: STOCKEXPERT.

La única forma habitada existente para experimentación en condiciones de gravedad reducida sin salir de la tierra, son los vuelos parabólicos.

estudiaremos los efectos mecánicos de un flujo de cizalladura sobre objetos biomiméticos, como las vesículas fosfolípidicas. Las cápsulas rusas Fotón, giran al rededor de la tierra hasta 15 días y pueden embarcar experimentos más grandes que los cohetes sonda.

Los vuelos parabólicos

La única forma habitada existente para experimentación en condiciones de gravedad reducida sin salir de la tierra, son los vuelos parabólicos. Se trata de mantener en caída libre el máximo tiempo posible un grupo de experimentadores con sus experiencias. La caída libre no implica solamente el hecho de caer, implica el hecho de estar libre de todo soporte, o sea que cuando lanzamos un objeto al aire, tanto en la subida como en la bajada él se encuentra en microgravedad. Cuando lanzamos una piedra en una dirección diferente a la vertical, la piedra hace un movimiento parabólico, durante toda la parábola, la piedra se encuentra en microgravedad. De igual manera, si un avión describe un movimiento parabólico, los pasajeros y todo lo que allí se encuentra estarán igualmente en microgravedad. El avión utilizado por en CNES en Francia, es un Airbus A300 que puede llevar entre 10 y 12 experimentos y al rededor de 40 pasajeros entre experimentadores y tripulación. Los motores originales tuvieron que ser modificados para poder realizar las difíciles maniobras que le permiten lograr una trayectoria parabólica de una duración de 25 segundos. Las condiciones de seguridad son extremas, los experimentos tiene que estar fuertemente atornillados al piso del avión y las estructuras donde están fijados los aparatos deben resistir nueve veces la gravedad. Cada dispositivo experimental tiene que ser pesado y su centro de gravedad conocido con el fin de distribuir los diferentes experimentos en forma equilibrada. Cuatro pilotos aseguran el buen desarrollo de las operaciones. Para lograr el movimiento parabólico y quedar en microgravedad, hay que contrabalancear todas las fuerzas existentes, así, a la gravedad la balancea la sustentación y a la resistencia del aire la balancea un empuje creado por los motores que deben funcionar casi al mínimo. Primero el avión vuela a 20 000 pies y luego se inclina hasta alcanzar un ángulo de 47° , en ese momento se reduce la potencia de los motores para vencer únicamente la resistencia del aire. Durante las fases de ascenso hasta una altura de 28 000 pies y de descenso, hasta cuando el avión logra una

Centro Espacial
Kennedy, Florida.

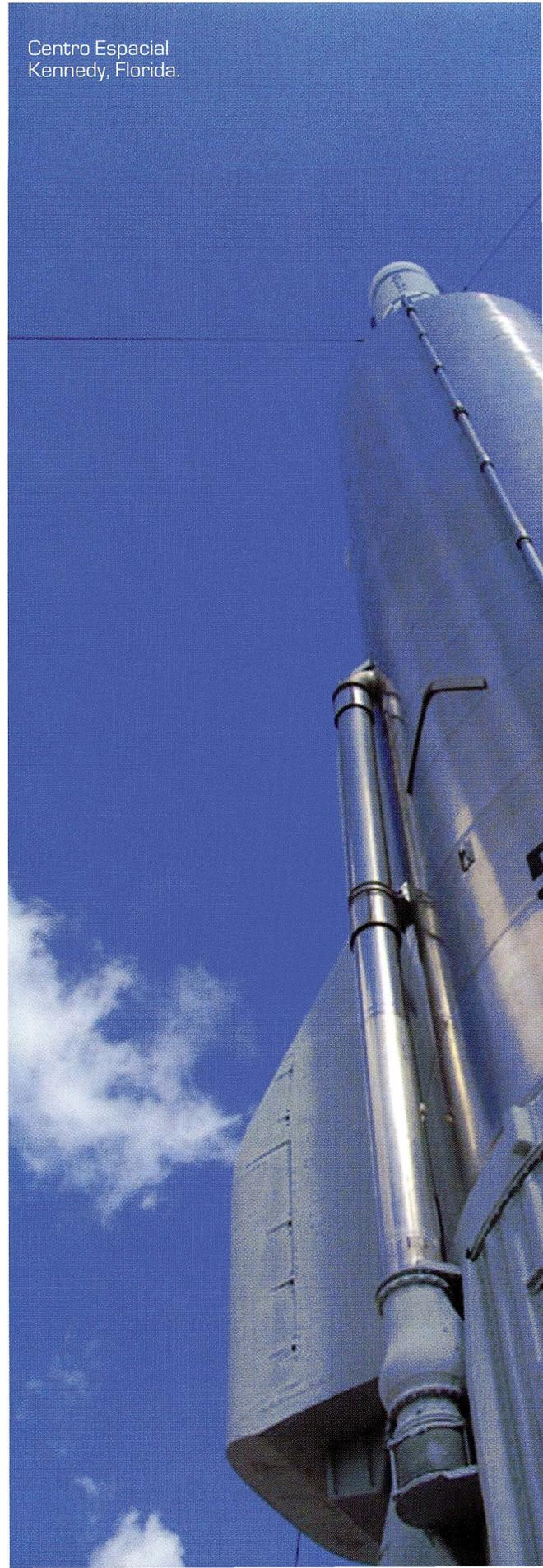




FOTO: STOCKEXPERT.

inclinación de 45° en el otro sentido, los ocupantes del avión se encuentran en microgravedad; el piloto reactiva luego los motores y estabiliza el avión en posición horizontal. Dos períodos de algunos segundos de hipergravedad, 1.8 veces la gravedad, son experimentados cuando el avión comienza la fase de ascenso y cuando sale de la fase de descenso, las condiciones para el experimentador son incómodas en estas dos fases. La campaña de vuelos dura tres días y cada día se realizan 31 parábolas.

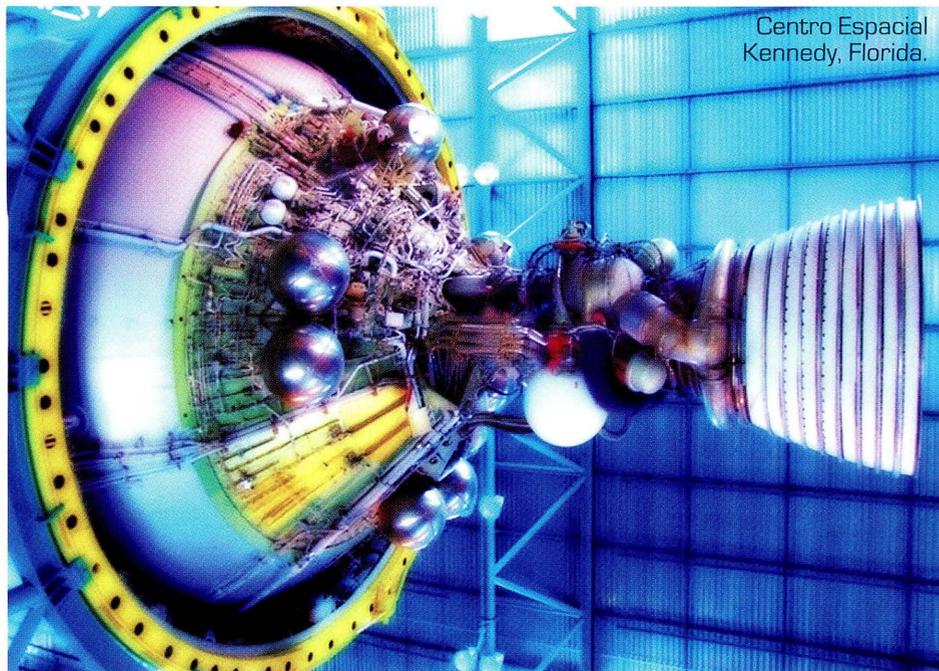
Concebir experimentos para ser realizados en un vuelo parabólico no es cosa fácil. Es necesario pensar en el tamaño del experimento, en la posibilidad de obtener informaciones científicamente válidas en 25 segundos y en la posibilidad de poder manipular los instrumentos en condiciones difíciles. La experiencia de estar en condiciones de microgravedad es fantástica pues la situación de tener masa pero no sentir el peso es desconcertante; caminar sobre el techo y no hacer esfuerzo para levantar los brazos o las piernas son situaciones nuevas a las que el cerebro tiene que responder sabiendo que la fisiología se modifica durante ese período. La sangre que normalmente es ayudada por la gravedad llega a los pies, necesita un esfuerzo suplementario del corazón para poder irrigar los miembros inferiores, además, un flujo anormal de sangre sube al cerebro durante unos segundos. Teniendo vivas todas estas sensaciones, el experimentador tiene al mismo tiempo que realizar sus estudios con la lucidez que se impone.

Veamos ahora dos experimentos que realizamos en diferentes campañas de vuelos parabólicos.

Mezcla de líquidos miscibles: el objetivo de ese experimento era el de observar cómo se mezclaban dos líquidos miscibles de densidad diferentes sin ayuda de la gravedad. Uno de los líquidos era una mezcla de agua con glicerol y el otro era agua pura coloreada con amaranto. El líquido coloreado es más denso que la mezcla de glicerol y en condiciones normales de gravedad, el efecto de mezcla únicamente por difusión molecular es eclipsado por la sedimentación. En microgravedad, el efecto difusivo es aislado y puede ser cuantificado. El experimento consistió en sí, en inyectar dentro de un pequeño frasco lleno de la mezcla de glicerol, una cantidad precisa de agua coloreada. El colorante es una macromolécula que tiene un coeficiente de difusión muy pequeño, es decir, para que el colorante difunda 1 mm

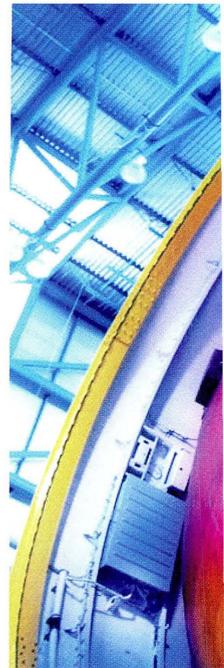
La situación de tener masa pero no sentir el peso es desconcertante.

La cooperación entre investigadores franceses y colombianos permitirá sin duda realizar campañas conjuntas.



Centro Espacial Kennedy, Florida.

FOTO: STOCKEXPERT.



en el interior de la mezcla de glicerol, se necesitan al rededor de 100 segundos. En el caso de líquidos inmiscibles, agua con aceite por ejemplo, cuando se inyecta un poco de uno en el otro, se forma una mezcla difásica en forma de gotas ya que existe una tensión interfacial que minimiza su energía formando un objeto esférico. ¿Qué pasa en el caso de los fluido miscibles donde no existe tensión interfacial? Solamente en microgravedad podemos obtener esta información ya que la sedimentación destruye toda posibilidad de encontrar una gota de colorante donde el tiempo largo de difusión permita determinar una tensión interfacial equivalente a la tensión en el caso inmiscible. Logramos obtener algunas gotas durante los vuelos parabólicos y pudimos a determinar dicha tensión, lo que ha aclarado mucho el concepto de miscibilidad. Las aplicaciones de este tipo de investigación es la mezcla de reactivos para la fabricación de medicamentos.

Estudio de fuerzas de sustentación en flujos: otro experimento que hemos realizado en varias ocasiones en el Airbus A300, está relacionado con el estudio de fuerzas de sustentación de partículas de silicio de talla micrométrica, al rededor de 5 micras, en suspensión fluyendo en un canal muy fino, de 200 micras de espesor. Una partícula de esta talla, el tamaño de un glóbulo rojo aproximadamente, transportada por un flujo

en la vecindad de una pared, sufre una fuerza que la aleja de dicha pared. Este efecto es uno de los responsables de que los glóbulos rojos migren hacia el centro de las arterias y que no se adhieran a la pared endotelial. El experimento necesitó de unos inyectores, unos detectores ultravioleta, de un microscopio holográfico digital y de un computador para almacenar los datos. El microscopio permitió observar in situ, la distribución tridimensional de partículas en el momento de atravesar el canal a una velocidad de 6 cm/s. Las imágenes obtenidas fueron analizadas y las diferentes distribuciones instantáneas de posición y velocidad de partículas determinadas. A fuerzas de sustentación fueron puestas en evidencia en este sistema y sus aplicaciones para las ciencias separativas y para la fisicoquímica han logrado avanzar gracias a estos estudios.

La microgravedad se presenta entonces como una oportunidad para revelar fenómenos que no pueden verse en condiciones normales. Desafortunadamente, la posibilidad de hacer estos experimentos es todavía muy reducida. Solamente los científicos que trabajan en programas específicos tienen acceso a esas facilidades y es aún mucha la demanda. La cooperación entre investigadores franceses y colombianos permitirá sin duda realizar campañas conjuntas para que en Colombia se hagan conocer este tipo de experimentación.

FOTO: STOCKEXPERT.

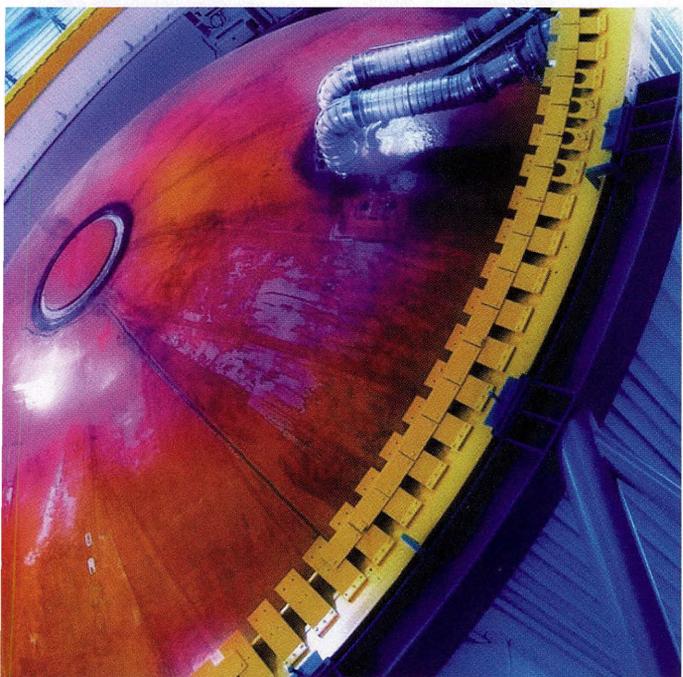


FOTO: STOCKEXPERT.

