

Fluidos en Microgravedad

Jorge Lassig y Eliana Aqueveque⁽¹⁾

*Departamento de Mecánica Aplicada, Universidad Nacional del Comahue
Bs.As. 1400. (8300) Neuquén. e-mail: lassig@uncoma.edu.ar*

⁽¹⁾ *Departamento de Geología y Petróleo, Universidad Nacional del Comahue
Bs.As. 1400. (8300) Neuquén. e-mail: elidel@speedy.com.ar*

RESUMEN

El campo de estudio de los fluidos en microgravedad es una disciplina científica de reciente creación. Desde 1995 en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue, se están desarrollando trabajos de investigación y experimentación en microgravedad en el campo de la Física de los Fluidos.

Las áreas abarcan: capilaridad, convección impulsada por fuerzas de tensión superficial, generación de puentes líquidos y dinámica de gotas.

Para ello se dispone de:

- un tanque de flotación neutral para simular condiciones de micro gravedad,
- una torre de caída libre que permite realizar pruebas en microgravedad por 1,5 segundos, y
- una cápsula que es elevada por medio de globos estratosféricos, y lanzada desde gran altura en caída libre, obteniéndose entre 10 y 12 segundos de microgravedad.

En 1997 hemos ensayado tres equipos científicos, en vuelos parabólicos a bordo del avión KC-135 de la NASA en Ellington Field, Houston.

La experiencia adquirida, nos permitió preparar cuatro experimentos que fueron ejecutados en un vuelo espacial a bordo del Space Shuttle Endeavour de la NASA, misión STS-108 en Diciembre de 2001.

Si bien hasta la fecha lo realizado son estudios básicos, las posibles aplicaciones se orientan al campo de los fluidos en medios porosos, el mejoramiento de la metalurgia terrestre, la atomización de gotas, y la obtención de materiales mono cristalinos.

Palabras Claves: microgravedad, fluidos, capilaridad, convección, cristales.

1. INTRODUCCIÓN

El efecto principal sobre los fluidos, debido a la falta de gravedad es que se manifiestan en toda su expresión las fuerzas de tensión superficial. Ellas tienen un interés físico y tecnológico, desde la generación de gotas y burbujas hasta procesos industriales.

El número de Bond relaciona los efectos de gravedad sobre los de tensión superficial:

$$Bo = \rho \cdot g \cdot d^2 / \sigma \quad (1)$$

donde σ es la tensión superficial entre la fase de los dos fluidos, d es la dimensión característica, ρ la densidad del fluido, y g la aceleración de la gravedad. Pequeños números de Bond significa que los fenómenos de tensión superficial predominan frente a los gravitatorios. Esto significa que, si mantenemos las mismas propiedades físicas del fluido, y reduzco la gravedad, podemos mantener el mismo número de Bond aumentando el tamaño del objeto. Así podemos utilizar el medio ambiente espacial como un laboratorio para experimentar procesos terrestres que debido al tamaño de sus dimensiones (micrones) son muy difíciles de monitorear en Tierra.

Ya por la mitad del siglo XIX hubo un interés en ello cuando Plateau [1] y otros pioneros utilizaron técnicas de flotación neutral para estudiar los fenómenos de capilaridad, de alguna forma contrarrestando la gravedad, aunque no anulando los gradientes de presión hidrostática

Más recientemente se han obtenido condiciones de ingravidez a través de: (a) torres de caída libre (de 1 a 10 segundos) como la del Centro Europeo de Usuarios de Microgravedad ZARM-LAB en Bremen, Alemania, o la JAMIC en Japón; (b) vuelos parabólicos de aeronaves (de 20 a 30 segundos) como los realizados por la NASA con los KC-135 o los de la Agencia Espacial Europea con aviones Airbus 300 [2], o Rusos con aeronaves Ilyushin 76-MDK [3]; y (c) vuelos de cohetes sondas (de 5 a 10 minutos de ingravidez) como los de los proyectos Maser [4] y Texus [5], que han permitido estudiar más realmente estos fenómenos.

Pero el máximo logro fue en los vuelos tripulados de larga duración, ya sea con los proyectos Skylab [6], Salyut, Mir y Shuttle [7], y ahora la estación Espacial Internacional (ISS) en donde fue posible planificar experimentos de fluidos en ingravidez con suficiente extensión de tiempo para los mismos.

Podemos decir que esta disciplina es muy joven. La ciencia de los fluidos ingravidos revela 4 áreas o grupos de interés principales, a saber:

- 1.- Física Molecular: el interés se concentra en poder estudiar los fenómenos en el punto crítico, sin disturbios.
- 2.- Propiedades Termodinámica y Coeficientes de Transporte: las mediciones de aquellas cantidades en microgravedad se favorece porque pueden levitar fácilmente, y no existe la convección natural. Las aplicaciones incluyen la elección y desarrollo de grandes y completas teorías.
- 3.- Calor clásico y Transferencia de masa: permiten realizar los típicos experimentos de cambios de fase y fácilmente se pueden determinar los coeficientes de transferencia. Los problemas pueden ser planteados en variables adimensionales, y el resultado de los parámetros de los

grupos dimensionales obtenidos en el espacio pueden ser extrapolados en busca de condiciones inaccesible sobre la tierra.

4.- Dinámica de Fluidos: a través del calor y la transferencia de masa se pueden generar importantes cantidades de movimientos. Se deberán resolver matemática y experimentalmente las ecuaciones diferenciales correspondientes. Este último ítem es parte del objeto de nuestros trabajos.

2. INFRAESTRUCTURA TERRESTRE

Lograr ausencia de gravedad y un ruido residual dinámico bajo, es crucial en muchos campos de la ciencia y la tecnología. Por ello es que se usan a nivel mundial muchos medios para lograr microgravedad desde: torres de caída libres, cohetes sondas, aviones en vuelos parabólicos, y obviamente (pero a un costo más alto) los satélites que orbitan la Tierra.

Cada método tiene sus pro, sus contras, y sus costos.

Los mismos en general disminuyen a medida que aumenta el tiempo de exposición a un ambiente de microgravedad, así los vuelos en naves espaciales son los que menores costos presentan por Kg de masa y por Horas de ensayo. En la figura 1 se ejemplifica el costo versus el medio utilizado para obtener microgravedad.

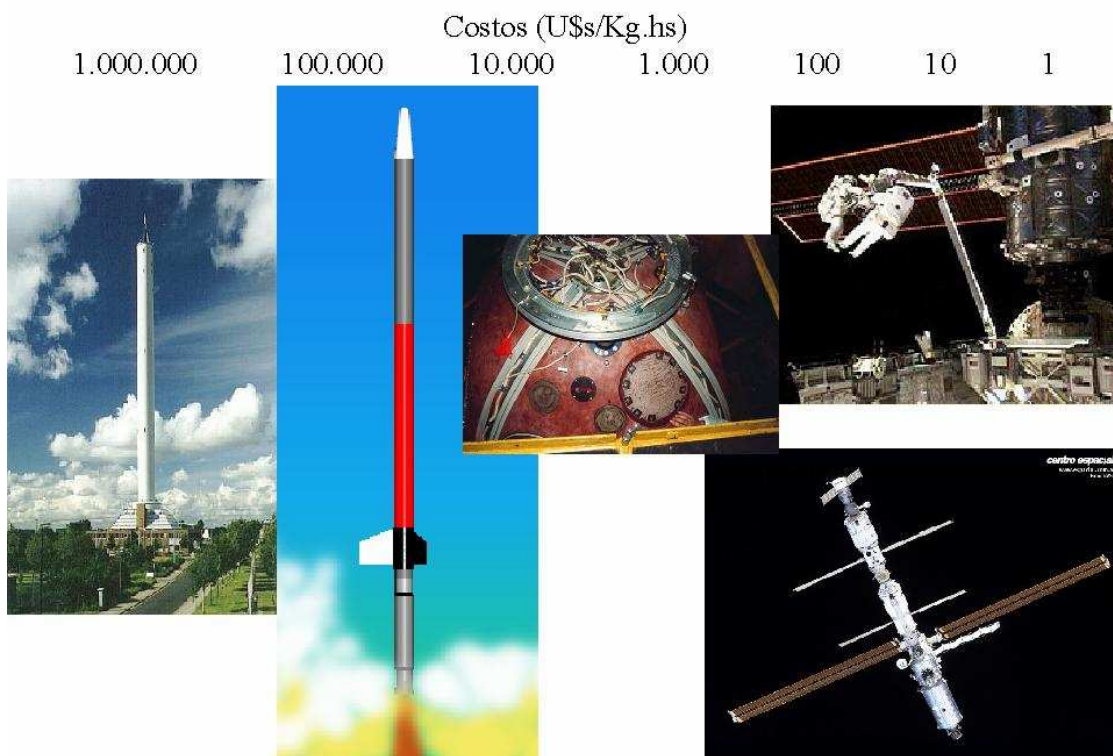


Figura 1: Costos por masa y tiempo de exposición a microgravedad, según la infraestructura empleada

Sin embargo, realizar ensayos en torres de caída libre o cohetes sondas es accesible a los bajos presupuestos, pues los tiempos de exposición a la microgravedad son pequeños (de segundos a unos pocos minutos). En la tabla 1 se indican los tiempos de microgravedad según la infraestructura que se utilice, y en la última columna se ha indicado, si ese instrumental existe en la Universidad Nacional del Comahue, o si ha realizado alguna experiencia en el extranjero al respecto.

Tabla 1: tiempo de duración para las distintas infraestructuras donde se obtiene microgravedad, si existen en la UNComahue o si realizó experiencias en otros laboratorios (Si, No, Realizó).

Modos de obtener Microgravedad	Tiempo	U.N.Comahue
Torres de caída libre	1 á 10 segundos	Si
Globos estratosféricos	10 á 60 segundos	Si
Vuelos parabólicos en aeronaves	20 á 30 segundos	Realizó
Vuelos en cohetes sondas	5 á 10 minutos	No
Satélites Recuperables	15 días	No
Space Shuttle	7 á 15 días	Realizó
Estación Espacial Internacional	meses	No
Tanques de flotación neutral	simulación	Si

A continuación se detallan los equipos que dispone el Laboratorio Argentino de Microgravedad en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Comahue (FI-UNCo).

2.1. Tanques de Flotación

Los tanques de flotación neutral son una herramienta para simular efectos de microgravedad, ya que estos consisten en la propiedad que tienen dos líquidos inmiscibles a igual densidad. Para ello se suele utilizar como líquido madre una mezcla de agua-alcohol, que iguale la densidad de por ejemplo un aceite siliconado, que se usa como fluidos de ensayo.

La gravedad no se anula (existe presión hidrostática dentro de los fluidos), pero al ser inmiscibles, la Tensión Superficial gobernará sobre las formas y movimientos.

Son de gran utilidad en el momento de obtener experiencias de cómo manejarse en un ambiente sin peso, como en el caso del entrenamiento de astronautas en las actividades extra vehiculares (EVA).

Al principio construimos un pequeño tanque de flotación para uso didáctico de unos 2 litros, en donde se realizaron las primeras experiencias sobre formación de gotas y coalescencia entre ellas. Luego se construyó un segundo tanque de flotación de 6 litros, con el objeto de realizar una serie de experimentos, para determinar las condiciones de adherencia o no adherencia de un chorro de fluido saliendo por un inyector, para generar gotas de gran tamaño, destinado a un experimento a desarrollarse en un GAS Canister en el Space Shuttle.

También hemos realizados con este tanque experimentos para generar puentes líquidos entre dos discos, con el objetivo de diseñar un experimento para controlar el crecimiento de cristales en microgravedad.

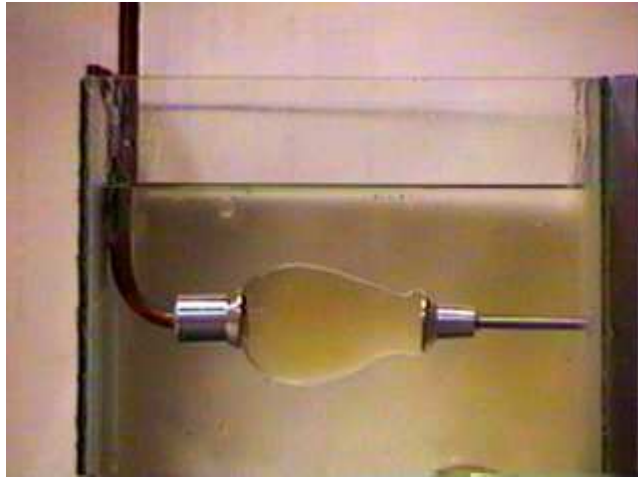


Figura 2: la foto muestra un puente líquido generado dentro de un tanque de flotación neutral de la F.I.- U.N.Comahue.

2.2. Torre de caída libre

Se dispone de una Torre de Caída Libre de 12 m, obteniendo 1,5 segundos de micro gravedad. El sistema consiste de una cápsula con un volumen de unos 30 litros, en donde se alojan los experimentos, una cámara color micro vídeo, y el equipo de telemetría. Cuando se lanza la cápsula, se realiza una filmación para observar cómo se comportan los fluidos en los contenedores. La filmación se realiza por medio de la micro cámara de vídeo. Las imágenes son transmitidas por medio de un transmisor de microondas (banda de 1.2 Ghz) en tiempo real. Las señales de TV son recibidas en el receptor, visualizadas en un monitor y grabadas en vídeo cassette para su posterior análisis y reproducción, cuadro por cuadro.

El canal de audio asociado a la imagen de la cámara se utiliza para sincronizar los cuadros, y por medio de él se envían otros datos telemétricos desde el interior de la cápsula.

Para que los experimentos puedan desarrollarse en torres de caída libre, es necesario que los tiempos característicos (t) de las principales variables físicas, estén en el rango de los tiempos característicos de micro gravedad de dichas torres. Por ejemplo, si se quiere poner de manifiesto los efectos por tensión superficial, estos deben ser más “veloces” que los efectos por viscosidad, así el tiempo característico del experimento se puede expresar como:

$$t = \mu \cdot L / \sigma \quad (2)$$

donde μ es la viscosidad dinámica, L es la longitud característica, y σ la Tensión Superficial. Este valor de tiempo debe ser inferior al valor del tiempo de la caída libre.

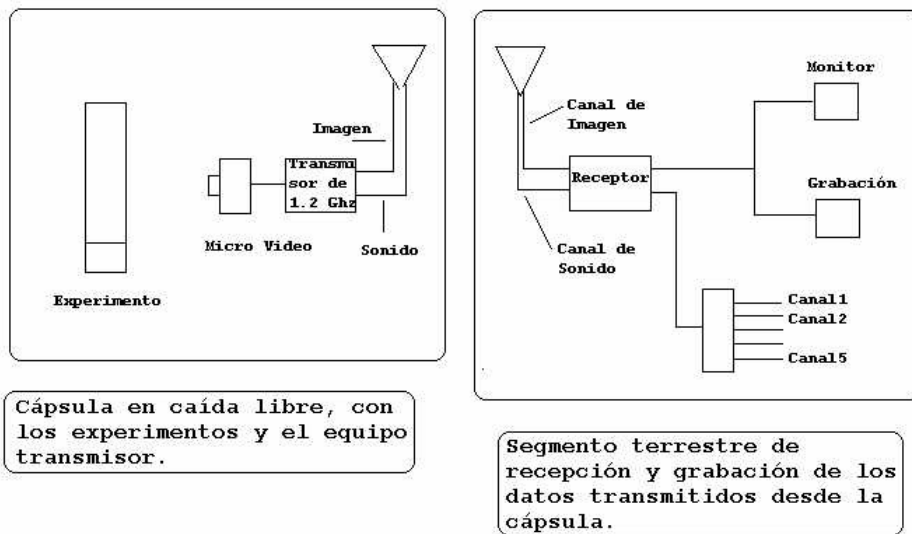


Figura 3: esquema de la telemetría de la cápsula y su recepción, en la Torre de Caída Libre.



Figura 4: vista exterior de la Torre de Caída Libre de la FI-UNComahue, en Neuquén

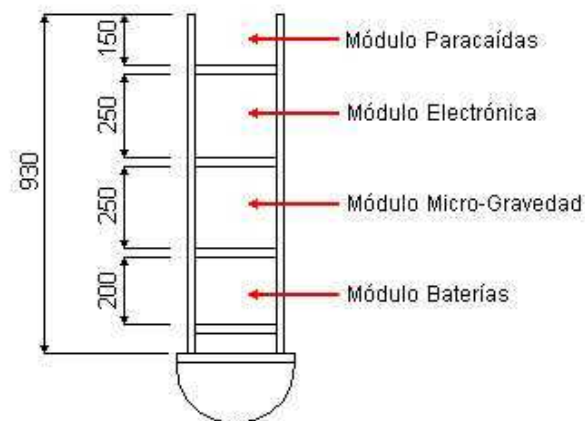


Figura 5: dimensiones y ubicación de los módulos de la cara útil

2.3. Globos estratosféricos

Dentro de las denominadas *Infraestructuras Terrestres* para crear microgravedad, se encuentra el utilizar la capacidad de elevar una cápsula por medio de globos que alcancen gran altura (estratósfera), y ser lanzados desde allí en caída libre.

En función de la altura de lanzamiento, y el coeficiente de arrastre (C_D) de la cápsula, se pueden lograr entre 10 y 60 segundos de microgravedad a un nivel entre $10^{-1}G$ y $10^{-4}G$.

En la FI-UNCo, diseñamos y construimos una cápsula para realizar experimentos en microgravedad por medio de globos capaces de ascender hasta los 25 Km de altura. En la figura 5 se muestran los distintos módulos en que consiste la cápsula estratosférica

Las características de la cápsula se ilustran en la tabla 2.

Tabla 2 Características y performances de la cápsula.

Características		Performances	
Longitud total	1,75 m	Tiempo de caída libre	20-25 seg
Diámetro externo	0,35 m	Tiempo de ascensión	1:40 horas
Peso vacío	2,5 Kg	Velocidad máxima	122.22 m/s
Carga útil	5,0 Kg	Carga máxima del paracaídas	3000 N
Peso (max)	7,5 Kg	Velocidad descenso con paracaídas	7 m/s
Cd	0,15		

Una vez alcanzada la altura para la prueba (22 á 24 Km de altura), se procede a enviar el comando que separa la cápsula del globo estratosférico. A partir de este momento la cápsula comienza la caída libre durante algunos segundos, luego de transcurrido ese tiempo se activa el sistema de paracaídas para completar la carrera descendente finalizando en tierra.

Al momento de lanzarse la misma desde gran altura, el nivel de microgravedad es prácticamente de 0 G, si bien la baja densidad producirá reducidas fuerza de arrastre, pero como en caída libre la velocidad se incrementa con el cuadrado del tiempo, el arrastre crecerá rápidamente. El criterio es que la fuerza de arrastre sea menor al 1% del peso de la cápsula logrando así un nivel máximo de microgravedad de 0,1 G. Con este criterio se construyó el gráfico de la figura 8.

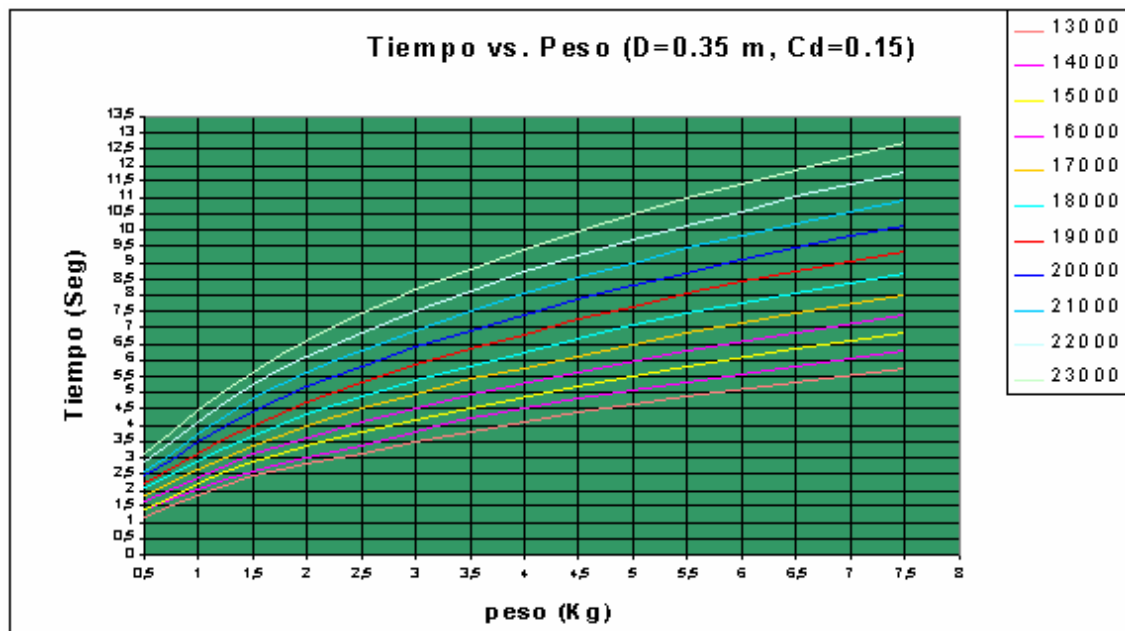


Figura 6: gráfico del tiempo de microgravedad hasta alcanzar un nivel de 0,1G, según el peso total de la cápsula para distintas alturas de lanzamiento (desde 13.000 hasta 23.000 m).

Como ejemplo, con una masa máxima de 7,5 Kg, lanzándola desde 23.000 m, se alcanzan los 0,1G a los 12,7 segundos, a una velocidad de 127 m/s, a partir de ese momento se debe iniciar

el frenado de la cápsula, y para reducir un 30% la velocidad se generará una fuerza inercial de 2930 Newton, dato este necesario para el diseño estructural de la misma

3.- RESULTADOS

A continuación se describen brevemente algunos de los trabajos realizados por nuestro grupo de trabajo con distintas infraestructuras de microgravedad. En la tabla 3 se indican algunos de los experimentos realizados, y en que infraestructura de microgravedad fueron corridos.

Tabla 3 Trabajos realizado en microgravedad por el grupo de la F.I.-U.N.Co

Experimento	Infraestructura Utilizada	Año
Experimento de coalescencia de gotas	Tanque de flotación neutral	1995-96
Experimentos de adhesión-no adhesión de gotas en un inyector	Tanque de flotación neutral	1996-97
Ensayo de un generador de gotas	Vuelos parabólicos KC-135 NASA	1997
Experimento Con Tubos No Circulares	Vuelos parabólicos	1997
Trasvasamiento de Líquidos por Tensión Superficial en Micro Gravedad	Space Shuttle Endeavour STS-1008	2001
Congelamiento de Agua en Depósitos, Simulando Capilares	Space Shuttle Endeavour STS-1008	2001
Experimento sobre Vibración de Gotas	Space Shuttle Endeavour STS-1008	2001
Ensayos con Puentes Líquidos (fluidos)	Tanque de flotación neutral	2002-2004
Experimento Puentes Líquidos Metálicos	Torre caída libre	2005
Experimento Puentes Líquidos Metálicos	Globos estratosféricos	2007

3.1. Vibración de Gotas

En tierra es muy difícil lograr números de Bond pequeños para anular los efectos gravitatorios, a menos que se reduzca mucho el tamaño con las complicaciones del caso. La vibración de una gota esférica debido a la tensión superficial actuando como forzante está expresada por la ecuación de Rayleigh:

$$\omega = \sqrt{\frac{16 \cdot \sigma}{\pi^2 \cdot \rho \cdot d^3}} \quad (3)$$

Si calculamos esta frecuencia para las gotas de lluvia obtenemos los siguiente resultados:

Tabla 4 Frecuencia de vibración superficial de gotas de agua según la ec. de Rayleigh.

Diámetro de gota de lluvia (mm)	Número Bond	Fc. de Vibración Ec. Rayleigh (Hz)
0,1	0,00065	25.515
1	0,065	800
4	1,04	100
10	6,5	25

en donde se puede observar que a medida que la gota de agua se hace más pequeña, la frecuencia de vibración aumenta y mucho. El medio ingravido posibilita realizar mediciones de este tipo de vibraciones con gotas de un tamaño adecuado con instrumentos sencillos, ya que en Tierra solo se pueden lograr gotas esféricas de muy pequeños tamaños, complicando la medición. El objetivo de este experimento, fue medir las vibraciones superficiales en gotas. Para el logro de ello, se planteo formar gotas entre 10 y 25 mm de diámetro, adheridas al pico del inyector, para poder acercarle un dispositivo óptico que midiera las vibraciones en su superficie. El experimento se realizó a bordo del Space Shuttle Endeavour misión STS-108 en diciembre de 2001. En la Tabla 5 se indican las frecuencias a las cuales vibraron según su tamaño, y las frecuencias teóricas según la ecuación de Rayleigh.

Tabla 5 Frecuencia de vibración superficial de gotas, según su diámetro, medidas en el módulo Flaming dentro del GAS canister G-761

Diámetro Gota (mm)	Frecuencia Rayleigh (Hz)	Frecuencia Medida (Hz)
13	5.07	5.5
15	4.09	4
19	2.87	2.5
25	1.90	2

3.2. Puentes Líquidos Metálicos

Un puente líquido es una columna de fluido sostenida entre dos discos coaxiales por medio de su tensión superficial, estos puentes se forman en ambientes de gravedad reducida o también se logran en microgravedad simulada, [8]. En particular, nuestros trabajos experimentales se orientaron a la formación de puentes líquidos en ambientes de gravedad reducida, durante breves períodos de tiempo, debido a la infraestructura disponible en la mencionada Universidad, por lo que el trabajo se centró en cuantificar los fenómenos transitorios en dicha operación. El objetivo de los trabajos fue lograr solidificar en microgravedad un puente líquido metálico de una aleación 60% Sn–40% Pb en peso, teniendo como base la experiencia adquirida en trabajos realizados anteriormente sobre Puentes Líquidos con fluidos no metálicos. Los ensayos se realizaron primero en la torre de caída libre de la Facultad y luego en un experimento desde un globo estratosférico, para muestras similares de Pb-Sn, las cuales fueron comparadas con muestras obtenidas en gravedad normal. Las distintas muestras fueron observadas en el microscopio electrónico, donde se obtuvieron las siguientes microfotografías. Se

puede observar en las micrografías que la muestra realizada en gravedad normal posee dendritas en algunos sectores, mientras que en la obtenida en microgravedad predomina la estructura globular.

4. CONCLUSIONES

La rama de la ciencia que estudia y experimenta con la ausencia de gravedad se denomina MICROGRAVEDAD, y se ha desarrollado a partir de los vuelos espaciales tripulados, por lo tanto es una ciencia muy reciente.

Los experimentos realizados por nuestro grupo de trabajo, nos han dado por un lado *experiencia* y por otro *conocimiento*, pues esta nueva rama de la ciencia requiere disponer de un enfoque algo distinto a lo que denominamos como habitual, ya que al utilizar el medio ambiente espacial como laboratorio para realizar experimentos sin gravedad, nos permite revelar parte de ese conocimiento, ayudando a mejorar la calidad de vida en la Tierra.

5. REFERENCIAS

- [1] Plateau, J., 1873; *Statique Expérimentale Et Théorique Des Liquides Soumis Aux Seules Forces Moléculaires*; Gauthiers/Villars, Paris, 1873.
- [2] Vago, J.L., 1998; *Parabolic Flight Activities With The Airbus A320 Zéro-G*; *Microgravity News*, Vol 11, N°1, ESA.
- [3] Pletser, V.; *Microgravity Levels Measured During Demonstrations Parabolic Flights With The Ilushin 76-Mdk*; *Microgravity News* from ESA; Vol.4 N° 2, Ago 1994, Netherlands.
- [4] Jan Zaar. and Klas Anggard, 1986; *Maser And Its Effectiveness And Experimental Results*; *Swedish Space Corporation*, Solna, Sweden, 1986.
- [5] Monti, R.; Fortezza, R. And Mannara, G. 1988; *Results Of The Texus 14b Flights Experiment On A Floating Zone. First Approach Towards Telescience In Fluid Science*; *Acta Astronautica* Vol.17, N°11 y 12, 1988, Great Britain.
- [6] Siebel, M., 1974; *The Third Skylab Mission: Skylab Results*; NASA.
- [7] Siebel, G., 1994; *Esa Microgravity Payloads On Iml 2*; *Micro gravity News*, Vol.7, N#1, Apr 1994, ESA, The Netherlands
- [8] Sanz, A.; *Comportamiento de Puentes Líquidos en Microgravedad*; *Anales de Química*, Vol.87, núm.4, pp.519-530, Real Sociedad Española de Química, 1991,

Agradecimientos

Estos trabajos se han realizado en el marco del Programa de Investigaciones PehuenSat, y con subsidios otorgados por la Secretaría de Investigación de la Universidad Nacional del Comahue.