

## Caracterización de hielos de interés astrofísico.

**R. Luna, M. Á. Satorre, M. Domingo, C. Millán, C. Santonja, G. Blanes**

*Centro de tecnologías Físicas. Universitat Politècnica de València. 46022 València. Spain.  
e-mail: ralunam@fis.upv.es*

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es mostrar el equipamiento experimental que dispone nuestro grupo de investigación sobre hielos de interés astrofísico en Alcoi. Dicho equipo experimental está diseñado para intentar reproducir las condiciones en las que se encuentran los hielos en diferentes entornos astrofísicos: bajas temperaturas (del orden de las decenas de K) y bajas presiones (alrededor de  $10^{-7}$  mbar, denominado como alto vacío). Sin embargo la versatilidad de nuestro equipo experimental permite adaptarlo a diferentes condiciones de trabajo para realizar otro tipo de estudios.

### INTRODUCCIÓN

El estudio de los procesos fisicoquímicos, de las superficies heladas del Sistema Solar, del medio interestelar y del medio circunestelar, ha cobrado cada vez más importancia debido a su relevante papel en la formación de moléculas complejas.

La importancia del estudio de los hielos es grande debido principalmente a dos razones: 1) en ellos se producen una gran variedad de fenómenos fisicoquímicos; 2) es el estado de agregación en el que son formadas nuevas moléculas.

El  $H_2O$  es la especie química más abundante en fase sólida, pero también presentan una abundancia relevante hielos como  $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ , etc. Por tanto, podemos concluir que el estudio experimental de las características de estos hielos es necesario para entender cómo se producen los procesos fisicoquímicos en los que están involucradas las distintas moléculas presentes en los diferentes ambientes astrofísicos mencionados.

En nuestro laboratorio, se están llevando a cabo una serie de experimentos sobre las propiedades físicas de estos hielos cuya presencia ha sido confirmada en distintos ambientes astrofísicos. Para ello se han estudiado en el laboratorio hielos de  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  y sus mezclas, usando el equipo experimental que se describe a continuación, en las condiciones presentes en los ambientes donde son relevantes: baja temperatura (10 K) y alto vacío ( $10^{-7}$  mbar).

### EXPERIMENTAL

El equipo experimental ha sido diseñado para estudiar principalmente hielos en condiciones similares a las de los entornos astrofísicos. Dicho equipo (Figura 1) está formado principalmente por:

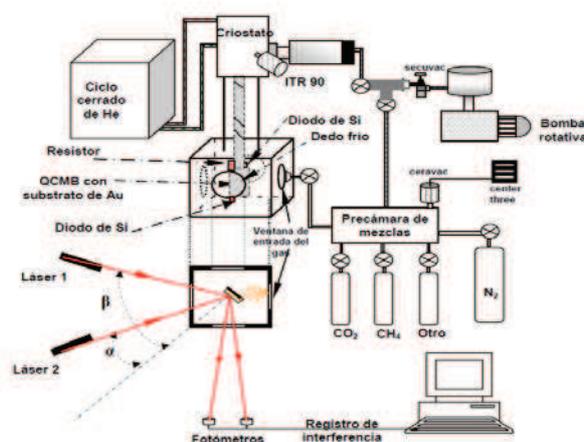


Figura 1. Equipo experimental.

-1. Cámara de alto vacío: Consta de un cilindro hueco de alrededor de 1 L de capacidad. Para conseguir el vacío en su interior, se usan bombas moleculares (LEYBOLD Turbovac 50) respaldadas por bombas rotativas (LEYBOLD TRIVAC 1.6B) cuyo conjunto es capaz de proporcionar al sistema un vacío de alrededor de  $10^{-7}$  mbar. La presión en la cámara es controlada por el sensor LEYBOLD ITR90 IONIVAC Transmitter.

-2. Criostato más un controlador de temperatura: Con este conjunto podemos tener en el portamuestras una temperatura fija (en el intervalo 10 - 300 K) o una rampa de temperaturas necesaria para el experimento. El criostato es de helio comprimido (Leybold Vakuum GmbH Coolpak 4000) y está basado en dos etapas. El controlador de temperatura (Oxford Instruments 503S, ITC), enviando corriente a una resistencia, puede fijar una temperatura en el portamuestras (con una precisión de al menos 0,5 K) o puede producir una rampa de temperaturas de velocidad constante (por ejemplo  $1 \text{ K mi}^{-1}$ ).

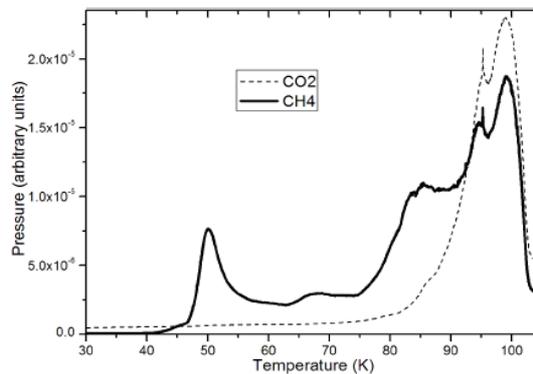
-3. Precámara de mezcla de gases: En ella se inserta previamente el gas que se vaya a estudiar o se realiza la mezcla de los gases que se vayan a estudiar en la proporción adecuada. Dicha proporción está basada en las presiones parciales de los gases. La presión es medida con un sensor CERAVAC con una precisión del 0,2 %. Los gases entran en la cámara por una válvula de aguja (Leybold variable leak valve) cuya apertura (dependiendo además de la presión de la precámara) controla la velocidad de entrada a la cámara. Los gases son suministrados a la precámara desde botellas comerciales (con pureza  $> 99,99 \%$ ) que disponen de válvulas dosificadoras (Pfeiffer EVN 116).

-4. Microbalanza de cuarzo: Está situada en el portamuestras, localizado al final de la segunda etapa del criostato. Consiste en un cristal de cuarzo que actúa como oscilador. Tiene una frecuencia propia de oscilación (alrededor de los 5 MHz) y a partir de la Ecuación de Sauerbrey ( $\Delta f = -S \cdot \Delta m$ ) podemos calcular la masa depositada sobre ella durante un experimento. La tasa de crecimiento que suele usarse en nuestros experimentos es de alrededor de  $1 \mu\text{m h}^{-1}$ , con una precisión del orden de  $1 \text{ ng Hz}^{-1}$ .

-5. Doble láser: Este dispositivo está formado por dos láseres ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}$  y potencia = 0,5 mW), cuyos haces inciden sobre el portamuestras, dispuestos con diferentes

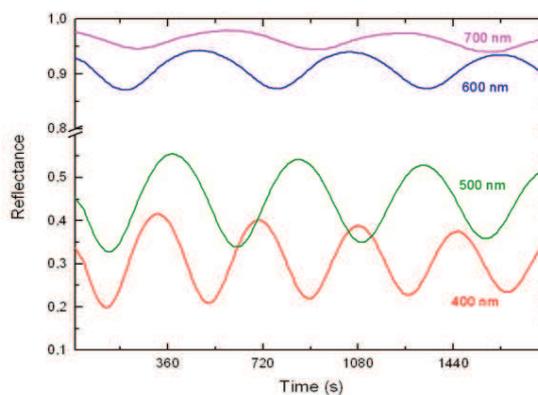
ángulos de incidencia. La señal, se refleja en el portamuestras y es recogida por dos fotodiodos (BPW21). La técnica experimental utilizada se denomina interferometría en películas delgadas mediante doble láser.

-6. Espectrómetro de masas de cuadrupolo: Está acoplado en la parte inferior de la cámara de vacío. El modelo es el AccuQuad RGA 100 (QMS), trabaja a presiones inferiores a  $10^{-4}$  mbar. Es capaz de monitorizar especies cuya masa esté comprendida en el rango de 1 – 100 uma, con una resolución de 0.5 uma. Este dispositivo nos permite monitorizar la composición y presión parcial de los gases presentes en la cámara de vacío (Fig. 2).



**Figura 2.** Presión parcial durante la desorción de una mezcla.

-7. Espectrómetro UV-visible: El modelo usado es el EPP2000C StellarNet. Usa una Lámpara de Halógeno-deuterio, cuyo rango es 200 – 700 nm, con una precisión de 1 nm. Con este dispositivo es posible realizar experimentos similares a los del doble láser pero permite analizar la variación del índice de refracción en el intervalo de longitud de onda mencionado (Fig. 3).



**Figura 3.** Interferograma del láser UV-visible.

-8. Lámpara de irradiación UV: Con dicha lámpara se irradia la muestra con fotones de energía comprendida en el intervalo 7.3 – 10.5 eV y con un flujo de unos  $5 \cdot 10^{14}$  fotón  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

-9. Espectrómetro infrarrojo (Fast Fourier Bruker IFS 66v/S): Dicho instrumento abarca el rango correspondiente al infrarrojo medio y lejano (2.5 – 1000  $\mu\text{m}$ ). Usa un Interferómetro Michelson, cuya resolución es 0.25  $\text{cm}^{-1}$ . La presión de trabajo del equipo óptico es de 0.1 mbar. Las lámparas disponibles son Globar (para el MIR) y Hg-Arc (para el FIR) y los detectores son DTGS (MIR y FIR). En el caso de trabajar en el rango 15 – 1000  $\mu\text{m}$ , se usa un bolómetro de silicio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Utilizando las técnicas anteriormente mencionadas podemos abordar distintos tipos de estudios:

- Espesor de la capa de hielo depositada sobre el portamuestras [1].
- Densidad de hielos puros y mezclas [2, 3, 4]. Dicho valor es fundamental para estimar la composición de los hielos a partir de las absorbancias integradas que dependen de dicho parámetro y que hasta ahora se ha tomado como densidad de cualquier hielo  $1\text{g cm}^{-3}$ , lo cual ha llevado a errores en la estimación de la abundancia que pueden estar por encima del 50 %.
- Variación del índice de refracción de hielos puros y mezclas [2, 3, 4] con la longitud de onda y con la temperatura.
- Energía de sublimación [5]. Este parámetro es imprescindible en los modelos dinámicos de superficies heladas susceptibles de sublimar por algún tipo de aporte energético.
- Estimación de la porosidad y capacidad de adsorción de algunos hielos [6]. Lo cual podría explicar la presencia de determinadas especies a pesar de que una superficie helada haya superado la temperatura de sublimación de dicho hielo.
- Formación de sustancias nuevas tras irradiar una mezcla de hielo con radiación ultravioleta.
- Estudio del cambio en la estructura de un hielo con la variación de la temperatura.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido la ayuda del Ministerio de Educación y ciencia (cofinanciado por fondos FEDER) AYA 2009-12974

## REFERENCIAS

- [1] Luna, R. et al., *Vacuum*, 83, 942-948 (2009).
- [2] Satorre, M. Á, et al., *Planetary and Space Science*, 56, 1748-1752 (2008).
- [3] Luna, R., et al., *Icarus*, 221, 186-191 (2012).
- [4] Satorre, M. Á, et al., *Icarus*, 225, 703-708 (2013).
- [5] Luna, R. et al., *Vacuum*, 86, 1969-1973 (2012).
- [6] Luna, R. et al., *Planetary and Space Science*, 314, 113-119 (2008).