

# Materia a muy bajas temperaturas: Comienza el espectáculo.

Conferencia inaugural en las VII Jornadas de la enseñanza de Física y Química.  
Madrid Noviembre 2011

Por

**Marta Segura**, Licenciada en Ciencias Químicas, Profesora y Jefe del Departamento de Ciencias Experimentales del Centro "Escola Pia de Nostra Senyora" de Barcelona.

**Josep M. Valls**, Licenciado en Ciencias Químicas y Profesor emérito del mismo Centro.

---

## 1.- Componentes del aire.

Los componentes permanentes del aire son el nitrógeno, el oxígeno, el argón y los otros gases inertes, que se encuentran en una proporción muy pequeña frente a los tres principales. Estos tres se encuentran en proporciones casi constantes: Los datos aproximados del aire seco son:

$N_2 = 76\%$        $O_2 = 23\%$        $Ar = 1\%$  (porcentaje en masa)

Las proporciones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y vapor de agua son variables. A partir de compresiones y expansiones con una técnica adecuada se puede conseguir bajar la temperatura del aire seco y exento de  $CO_2$ , hasta por debajo de su punto de ebullición, una temperatura alrededor de los  $-190^\circ C$ . Por debajo de la misma del aire es líquido y su composición cambia:

$N_2 = 43\%$        $O_2 = 54\%$        $Ar = 3\%$

Antes de licuar el aire hay que eliminar el  $CO_2$  y el agua ya que a tan bajas temperaturas estos dos son sólidos: Al agua la llamamos *hielo* cuando es sólida por debajo de  $0^\circ C$ , y al dióxido de carbono lo llamamos *hielo seco* cuando es sólido por debajo de  $-78,5^\circ C$  (se entiende que la presión atmosférica normal de 1013 hPa).

A continuación ponemos los datos físicos más relevantes de los tres componentes mayoritarios del aire líquido:

	Nitrógeno	Oxígeno	Argón
Punto de ebullición ( $^\circ C$ )	-196	-183	-186
Densidad ( $g/cm^3$ )	0,81	1,15	1,40
Color	Incoloro	Azulado	Amarillento

Normalmente el aire líquido no se comercializa, sino que se destila a continuación de su licuación (método de destilación fraccionada). Con tal técnica se separan sus tres componentes y también los otros componentes minoritarios (neón, criptón y xenón).

El nitrógeno líquido es una sustancia incolora que se encuentra a unos  $-200^\circ C$ , y que tiene muchas utilidades a nivel industrial. Debido a esta temperatura tan baja, será el protagonista de todas nuestras experiencias.

## **2.- Introducción a las experiencias.**

Las experiencias que vamos a hacer con el nitrógeno líquido nos servirán para estudiar los efectos de las muy bajas temperaturas sobre la materia. Nos ayudarán también a entender mejor el concepto de calor y los intercambios de calor entre cuerpos con gran desnivel térmico incluidos los cambios de estado. Al ser el nitrógeno un elemento muy inerte, no podremos realizar con él ninguna reacción química. Todas las experiencias son muy espectaculares pero habrá que tener bien presentes unas normas de seguridad rigurosas:

- \* Trabajaremos en una sala amplia y aireada. El nitrógeno podría desplazar el oxígeno del aire y esto puede producir problemas respiratorios.

- \* No se debe tocar nunca con las manos.

- \* Los objetos congelados por él no se han de coger sin guantes.

- \* NUNCA se debe poner en la boca algo recién congelado aunque sea aparentemente inofensivo (una fruta por ejemplo).

La peligrosidad de esta sustancia no se encuentra en su naturaleza sino en su temperatura. Nosotros en la vida diaria experimentamos temperaturas que, como mucho, llegan a unos  $-25^{\circ}\text{C}$ , cuando tomamos cosas del congelador de la nevera de casa. En cambio cuando manipulamos nitrógeno líquido estamos hablando de unos  $-200^{\circ}\text{C}$ . Estas temperaturas cuestan de imaginar y el peligro de quemaduras graves y congelaciones irreversibles es muy grande si no se tiene cuidado. Las células vivas de nuestro organismo (al igual que las de los animales y de las plantas) están hechas principalmente de agua. A tan bajas temperaturas el agua se congela y aumenta de volumen, rompiendo la misma célula. Aunque después todo vuelva a la temperatura normal, la célula ya está muerta. Ha habido una necrosis del tejido.

Si se toca con las manos o, peor aún, con la boca una sustancia muy fría, el agua se helará a continuación y los dedos o la boca quedarán "soldados" al objeto frío, enfriándose aún más y difícil de poder separar. Estos es un peligro muy grave. Sin embargo es muy fácil evitarlo, no tocando nada que esté a tan bajas temperaturas. Cuando sea necesario hacerlo lo haremos con unos guantes especiales.

Los recipientes para contener líquidos a tan bajas temperaturas son unos frascos o botellas de doble pared llamados vasos Dewar, y en general se denominan *criostatos*. Están formados por una doble pared de vidrio de tal forma que entre las dos ha hecho el vacío. Así se evita la transmisión de calor por conducción. Un "plateado" como los de los espejos hace que se evite (por reflexión) el calor por radiación. Estos recipientes o "termos" no tienen que ser herméticos nunca sino que su tapón debe "tapar" de tal manera que pueda salir cualquier desprendimiento de vapor. Si fuesen herméticos pueden explotar.

Las experiencias que vamos a hacer se pueden realizar en recipientes "Dewar" o en recipientes de "porexpan" que aíslan mucho el calor. No es aconsejable hacerlos en recipientes de vidrio o de plástico, ya que por efectos de dilatación se pueden romper fácilmente.

## **3.- Intercambios de calor a muy bajas temperaturas.**

Sabemos que al poner en contacto dos cuerpos que tienen diferente temperatura, hay un intercambio de energía entre el cuerpo caliente y el cuerpo frío. El cuerpo caliente da energía al cuerpo frío. Es lo mismo que decir que el cuerpo frío

capta energía del cuerpo caliente. A tal energía la llamamos CALOR. Aparece un equilibrio térmico. El cuerpo caliente se enfría y el cuerpo frío se calienta. Y esto continúa hasta que los dos cuerpos se encuentren a la misma temperatura, estado llamado *equilibrio térmico*.

El intercambio de calor y los efectos en los materiales son diferentes según las masas de las sustancias caliente y fría. Cuando el cuerpo frío (el que tiene la temperatura baja, el nitrógeno líquido en nuestro caso) tiene poca masa (es decir, hay poco) en relación a la masa del cuerpo caliente (los otros cuerpos a temperatura normal o ambiente), se produce lo que llamaremos EFECTO CALEFACCIÓN. Una gota de nitrógeno líquido (muy frío, de muy poca masa) cae sobre la mesa (caliente, temperatura ambiente, gran masa) se vaporiza enseguida y la mesa casi ni "se entera" del enfriamiento. Es el *efecto calefacción*.

Si, en cambio, el cuerpo frío (el nitrógeno líquido en nuestro caso) tiene mucha más masa que el cuerpo caliente (materia ordinaria a la temperatura ambiente), se producirá lo que llamaremos EFECTO CONGELACIÓN. Unas gotas de agua (cuerpo caliente, a temperatura ambiente; demasiado pequeña) caen dentro de un vaso con nitrógeno líquido (muy frío, mucha masa), se convierten inmediatamente en hielo. El nitrógeno líquido apenas ha variado. Es el *efecto congelación*.

#### **4 .- Efecto calefacción.**

1) Llenamos el vaso Dewar transparente. Podemos observar el efecto calefacción. Cuando para el ruido y deja de hervir, la zona del vidrio y el nitrógeno ya están a la misma temperatura. Pero como es mal conductor del calor, la parte que no toca al líquido aun esta a temperatura ambiente. Se puede demostrar que es así, al inclinar el vaso, volviendo a aparecer el efecto calefacción.

2) Si introducimos un instante el dedo dentro del nitrógeno líquido, el efecto calefacción nos protege (de momento) y una capa de vapor rodea nuestro dedo haciendo que el nitrógeno no moje. Si estuviera más tiempo sumergido se produciría el efecto congelación y las células se destruirían produciendo la necrosis de la que ya hemos hablado.

3) Con una cuchara cogemos un poco de nitrógeno líquido y lo dejaremos caer sobre la mesa o el suelo. Se podrá notar perfectamente el efecto calefacción y las bolitas del líquido que esta evaporándose, que no mojan la mesa. Si tocamos la mesa no se nota que se ha enfriado.

El "humo" que vemos sobre el nitrógeno y alrededor de los objetos fríos NO ES NITRÓGENO. Es niebla (microgotas de agua que se han condensado) o, si es muy blanco está formado de microcristales de hielo, formados a partir del vapor de agua que hay en la sala.

4) Necesitaremos una galleta bien seca (Galleta "María" clásica). La untaremos unos segundos en nitrógeno líquido y la pondremos en la boca y masticar. La niebla sale incluso por la nariz. El efecto calefacción hace que se caliente muy rápido y no nos haga daño. No sería lo mismo si contuviera agua, ya que su capacidad calorífica es mucho más grande que la de la galleta seca.

#### **5 .- Destrucción de las células de una hoja.**

Preparamos una hoja verde ancha y delgada y la introduciremos hasta la mitad dentro del nitrógeno líquido. Unos cuantos segundos, evitando que se rompa.

Después, con mucho cuidado, la pondremos encima de la mesa y la dejaremos para observarla al final de todas las experiencias.

Llegado ese momento podremos observar la necrosis que se ha producido en la zona enfriada. La hoja se está pudriendo en esa zona, que aparece más oscura.

### **6.- Licuación del aire.**

Introducimos un tubo de ensayo vacío y seco en el recipiente con nitrógeno líquido y sin taparlo (no hacerlo nunca!) Dejarlo un tiempo hasta que hagamos las experiencias con oxígeno al final. Veremos que se va formando un líquido de color azul celeste muy pálido que, poco a poco, va aumentando de volumen. Es aire muy concentrado en oxígeno, que se licua. Recordemos que el punto de ebullición del oxígeno es de  $-183^{\circ}\text{C}$  y el de nuestro nitrógeno tiene unos  $-200^{\circ}\text{C}$ . (como máximo  $-196^{\circ}\text{C}$ ).

### **7.- Sublimación regresiva del dióxido de carbono.**

Con unas pinzas cogemos una cuchara honda y reluciente de metal inoxidable y el llenaremos de nitrógeno líquido. Con mucho cuidado alentamos sobre la misma. Veremos que se forma una escarcha blanca: es hielo (agua) y sobre todo hielo seco (dióxido de carbono sólido provenientes de nuestra respiración). En retirarlo de la zona fría, por ejemplo con una espátula, el hielo seco "desaparece" (sublima) y el agua es licua pero tarda más. El aire de la expiración contiene mucho dióxido de carbono.

### **8.- Solidificación de líquidos.**

Prepararemos algunos de los siguientes líquidos en diferentes tubos de ensayo (hay que procurar, por razones de seguridad, que el volumen no exceda de un dedo en un tubo de ensayo ordinario ni taparlo nunca!). En la tabla siguiente tenemos los puntos de fusión en  $^{\circ}\text{C}$  de unas cuantas substancias para hacer el experimento.

Ácido sulfúrico del 96%	9
Benceno	5,5
Agua destilada	0
Mercurio	-39

Acetona	-95
Tolueno	-95
Alcohol etílico	-112
Éter etílico	-116

Nosotros pondremos dos tubos: Agua, y Alcohol etílico. También en otros tres tubos pondremos líquidos no puros de la vida ordinaria: Vino, Aceite, y Gasolina. Dejaremos el mercurio para otro experimento posterior.

Una vez acabado el efecto calefacción del principio, todos los tubos acabarán por adquirir la temperatura del nitrógeno y todos los líquidos se congelarán. Los que tengan el punto de fusión más bajo tardarán más.

A continuación sacaremos los líquidos con unas pinzas y mostraremos cómo han quedado. En algunos casos se ve perfectamente la cristalización. Habrá que tener una gradilla preparada para poner los tubos después. No tapar nunca los tubos.

## **9 .- Solidificación y fusión del mercurio.**

Necesitaremos una cubeta de plástico y un destornillador que pueda llegar al fondo de un tubo de ensayo ordinario. Tener a punto también una madera y algún clavo de hierro de unos 2 cm. También necesitaremos un trapo y un martillo. Aparte dispondremos de un tubo o probeta bastante ancho de unos 6 cm de diámetro interior y unos 25 cm de fondo. Debe estar lleno de agua hasta arriba. También tendremos preparada una pinza ordinaria de ropa.

Llenaremos un tubo de ensayo ordinario con mercurio hasta la mitad. Pondremos dentro del mismo el destornillador de tal manera que el mango quede fuera del tubo. Lo introduciremos dentro del nitrógeno líquido hasta que se congele del todo. Cuando el mercurio se haya solidificado completamente lo sacaremos con cuidado (usar siempre guantes). Envolveremos el tubo con un paño y, con la ayuda de un martillo lo romperemos hasta que nos quede un auténtico martillo de mercurio, con el que podremos perfectamente clavar un clavo en una madera. A continuación con la pinza de ropa "colgaremos" el destornillador de tal forma que el "polo" de mercurio quede sumergido en el recipiente alto lleno de agua que ha sido preparado. Observaremos la costra de hielo que se forma y, a la vez, gotas de mercurio líquido que supuran de dentro del hielo. Cuando todo el mercurio se haya fundido en el fondo del recipiente, aún quedará parte de hielo que flotará encima del agua y que acabará por fundirse. La temperatura del agua apenas ha descendido. Lo que ha pasado es que el mercurio está muy frío y es capaz de helar el agua de su alrededor absorbiendo calor. El agua se hiela y él se funde. El mercurio se recupera haciéndolo pasar a través de un embudo de decantación.

## **10 .- Congelación de una flor.**

Tendremos que disponer de flores frescas, claveles o rosas. Cogemos una flor por el tallo y la introduciremos en el recipiente con nitrógeno líquido. Una vez pasado el efecto calefacción, la flor quedará totalmente congelada. Golpeando la flor contra la mesa o estrechándola entre las manos (con guantes!) La flor se pulverizará, ya que se rompe el hielo del que están hechas sus células. La experiencia es muy espectacular.

## **11 .- Cambios físicos en los metales.**

Las bajas temperaturas pueden hacer que los metales blandos sean rígidos y frágiles. Intentaremos doblar una placa de zinc; veremos que es perfectamente posible y no se rompe. Haremos lo mismo dejando caer una plancha de plomo en el suelo. Observamos el sonido que hace. Intentaremos hacer tocar una campanilla artesanal hecha de plomo. El sonido no es el típico sonido metálico, ya que el plomo es blando. Si disponemos de un fragmento de metal soldadura (aleación de estaño y plomo), podremos observar que se dobla con mucha facilidad.

Repetiremos las cuatro experiencias después de que todas ellas hayan sido sumergidas un cierto tiempo en nitrógeno líquido (y una vez pasado el efecto calefacción). Veremos que el zinc se rompe, la plancha de plomo ha cambiado de sonido, la campanilla de plomo da un sonido metálico. Y la varilla de soldadura no se puede doblar. Han cambiado pues las propiedades físicas de estos materiales. Las bajas temperaturas hacen aumentar las fuerzas de cohesión de los átomos que forman los metales.

## **12.- Cambios de estructura en algunas moléculas.**

Prepararemos cinco tubos de ensayo con un dedo de las sustancias siguientes, que tienen color:

- 1 Azufre en polvo, amarillo pálido
- 2 Óxido de mercurio (II) (polvo), anaranjado
- 3 Yoduro de mercurio (II) (polvo), rojo
- 4 Sulfato de níquel (II) (cristales), verde
- 5 Disolución de yodo en tetracloruro de carbono, violeta (Puede disolverse el yodo en otros disolventes NO Polares por ejemplo el tolueno o el cloroformo ya que el tetracloruro de carbono es tóxico).

Introduciremos los tres tubos en el nitrógeno líquido y esperaremos un tiempo después de finalizar el efecto calefacción. Los colores cambiarán:

- 1 Azufre en polvo, blanco
- 2 Óxido de mercurio (II) (polvo), amarillo
- 3 Yoduro de mercurio (II) (polvo), anaranjado
- 4 Sulfato de níquel (II) (cristales), azul
- 5 Disolución de yodo en tetracloruro de carbono, marrón

Ha habido en todos ellos un cambio en la estructura de las sustancias puras, que ha afectado a la diferente absorción de la luz.

## **13.- Cambios físicos en los plásticos.**

Existen tres tipos de plásticos: los termoplásticos, sensibles a los cambios de temperatura, los termoestables, no sensibles a los cambios térmicos, y los elastómeros, que pueden ser estirados y deformados. Los primeros y los terceros se endurecen y se vuelven extraordinariamente frágiles a bajas temperaturas. Los segundos casi no se alteran, lo máximo que pueden hacer es compactarse un poco.

Prepararemos muestras de:

- a) Tapón de polietileno o de PVC (termoplástico)
- b) Trozo de "formica" o de bakelita (termoestable)
- c) Trozo de tubo de látex, goma o silicona (elastómero)

Los introduciremos dentro del nitrógeno líquido durante un cierto tiempo, pasado el efecto calefacción. Observamos que el b) no ha variado casi nada. Los otros se han vuelto duros y frágiles, lo que se puede comprobar rompiéndolos con un martillo.

## **14.- Comportamientos distintos de un plástico y un metal.**

Si introducimos un tubo delgado de látex de unos 30 cm de largo en el nitrógeno de tal manera que una parte quede sumergida y la otra no, podremos observar el surtidor de nitrógeno líquido mientras dura el efecto calefacción. Una vez acabado el surtidor está el efecto congelación y esa zona se convierte en dura y frágil. Podemos coger perfectamente el tubo por la parte no sumergida ya que el plástico no conduce bien el calor.

Hacemos lo mismo con un tubo de aluminio (no tocarlo con los dedos; usar guantes!). Veremos que el efecto calefacción dura mucho más ya que el aluminio es un buen conductor del calor. Este efecto parara cuando todo el tubo esté a la misma temperatura: la del nitrógeno.

## **15.- Producción de niebla.**

Podemos observar en todas las experiencias que en torno a los objetos fríos hay niebla. Se trata del vapor de agua que lleva el aire, condensado en forma de niebla en las zonas muy frías.

Prepararemos un vaso de 600 cm<sup>3</sup> y lo llenaremos de agua en un 75% (tres cuartas partes). Poco a poco añadiremos sobre el agua un poco de nitrógeno líquido, de tal manera que el efecto calefacción se ponga de manifiesto. A continuación, con una cuchara larga o espátula agitamos fuertemente el agua. Se producirá una gran cantidad de vapor que se condensará en forma de una niebla bastante espectacular. Está formada de microcristales de hielo.

Es importante que observemos muy bien que el nitrógeno siempre flota sobre el agua. Su densidad vale 0,81. Prepararemos un palillo encendido y lo introduciremos dentro de esta niebla, observando como se apaga. El nitrógeno no es comburente.

Si seguimos añadiendo más nitrógeno llegará el efecto congelación y empezará a congelarse la superficie del agua del vaso.

Repetiremos la primera experiencia con un matraz de Erlenmeyer de 1000 cm<sup>3</sup>. Veremos como la niebla sale con fuerza de una manera muy espectacular si agitamos el mismo, como si fuera una chimenea. Estamos viendo la popular y simpática imagen de un químico, cuando en realidad no estamos haciendo ningún fenómeno químico!

## **16.- Experiencias con globos y pelotas de goma.**

a) Hacer botar dos pelotas macizas iguales. Disponemos de dos pelotas macizas iguales: Una la sumergiremos en nitrógeno y la otra, no. Después y con la ayuda de unas pinzas para coger la fría, las dejaremos caer al suelo y comprobaremos que botan de distinta manera. Su elasticidad ha cambiado. La pelota fría se ha endurecido (es un elastómero) y se ha convertido en más compacta y el bote es diferente.

b) Implosión de una pelota de goma: Necesitamos una pelota de goma vacía por dentro (no maciza!) de unos 5 cm de diámetro (puede servir perfectamente una pelota de "squash"). La introduciremos dentro del nitrógeno líquido. Al cabo de un cierto tiempo la cogeremos con unas pinzas (o con guantes), y la lanzaremos hacia arriba, dejando que caiga al suelo desde bastante altura. Al chocar contra el suelo se romperá haciendo una implosión con el ruido característico. La pelota está hecha de un elastómero (la goma) que se vuelve frágil como el cristal. Dentro hay aire que se licua y se forma, por lo tanto un vacío muy fuerte. Al romperse en el suelo tiene lugar la implosión.

c) Comportamiento de un globo hinchado: Necesitamos un globo ordinario de látex que está hinchado hasta la mitad aproximadamente y bien cerrado. Lo pondremos encima del recipiente ancho en contacto con la superficie del nitrógeno. Poco a poco el globo se deshincha y el látex se vuelve rígido. Se licua el aire y baja mucho la presión. La presión atmosférica se encarga de chafar el mismo. Una vez bien chafado y con mucho cuidado, con unas pinzas lo cogemos (procurando no romperlo!) Y lo ponemos sobre la mesa. Observaremos como el globo se hincha solo y el látex vuelve a ser elástico. El aire de dentro se ha vuelto a evaporar y el látex ha devuelto a la temperatura ambiente. El globo vuelve a ser como antes.

### **17.- Oxígeno líquido en un cono de latón.**

Si queremos obtener una cierta cantidad de oxígeno líquido necesitamos preparar esta experiencia antes de que todas las demás y gastar gran cantidad de nitrógeno.

Llenaremos de nitrógeno líquido un cono de latón (hecho artesanalmente) que se encuentra encima de un trípode. El cono no está roto. Pasados pocos segundos Observamos como una capa de escarcha rodea la parte superior del cono (se trata de agua y dióxido de carbono cristalizados). Pero en la parte inferior hay resbalando oxígeno líquido condensado que fluye por la punta del cono. Con una brocheta de madera encendida pero sin llama, se puede comprobar que se trata de oxígeno. La madera se enciende vivamente: Si, en cambio, la introducimos sobre el nitrógeno, se apaga.

Para proseguir con nuestra “fábrica” de oxígeno, llenaremos un pequeño vaso Dewar con nitrógeno con tal de enfriarlo completamente. Luego lo vaciaremos y lo pondremos debajo del líquido que fluye por la punta del cono. Interpondremos un papel de filtro de pliegues para retener los sólidos (agua y  $\text{CO}_2$ ). Dejaremos que se vaya llenando del oxígeno líquido formado. Este oxígeno lo usaremos para experiencias posteriores. En este mismo termo podemos echar el aire licuado obtenido en el tubo de ensayo “vacío” del apartado 6.

### **18.- “Freír” un huevo en frío.**

No se trata de freír un huevo, sino únicamente de congelarlo de una manera similar al proceso de freírlo. La diferencia está en que al final el huevo seguirá siendo crudo y tendrá las mismas propiedades que antes, cosa que no ocurre cuando se fríe.

Cogeremos una sartén que tenga antiadherente. Añadiremos nitrógeno líquido. Dejaremos pasar el efecto calefacción y pondremos un poco más de nitrógeno como si fuera el aceite de freír. Romperemos un huevo y lo pondremos en la sartén. Moveremos la sartén hasta que quede congelado del todo, parecido a lo que sería un huevo frito.

Una vez evaporado todo el nitrógeno se puede recuperar el huevo. La clara está dura como una piedra pero la yema casi no se congela. De hecho las células que llevan mucha grasas se pueden congelar sin que haya necrosis. Por eso, entre otras finalidades, se utiliza el nitrógeno líquido en los hospitales.

### **19.- Nitrógeno sólido. Punto triple.**

Para hacer esta experiencia nos hace falta un dispositivo formado por una bomba de vacío, las gomas de conducción convenientes y un manómetro de vacío. También necesitamos un termómetro que supere los  $-200^\circ \text{C}$ . Necesitaremos un tapón adaptado al un vaso Dewar transparente, que tenga un tubo con grifo (para conectar a la bomba de vacío) y un agujero para meter la sonda del termómetro.

Montaremos todo el dispositivo: el tapón estará conectado a la bomba de vacío que llevará el manómetro. La sonda termométrica estará puesta en el tapón. Pondremos dos o tres dedos de nitrógeno líquido en el vaso. Con el grifo abierto lo taparemos. Conectaremos la bomba de vacío. El nitrógeno comenzará a hervir y veremos que la presión baja y la temperatura también. Cuando la presión sobrepase los 666 mm de Hg de vacío (tendremos una presión inferior a 94 mm Hg), veremos

que la temperatura llega a  $-210^{\circ}\text{C}$ . Este es el punto triple del nitrógeno. Dentro del vaso Dewar aparecen unas masas blancas: es nitrógeno sólido. Tenemos el nitrógeno fundiéndose, solidificándose, sublimándose, condensándose, hirviendo y licuándose. Todos los estados y cambios de estado de la materia. El punto triple.

La ebullición forzada del nitrógeno al disminuir la presión exterior hace que éste deba tomar energía. Lo hace de sí mismo y, por ello, baja la temperatura y el nitrógeno no evaporado se hiela. Explicado de una manera simpática podríamos decir que las moléculas líquidas quieren evaporarse y toman calor de otras, de las más lentas. Las rápidas se escapan y las más lentas se enfrían.

Con mucho cuidado, pararemos la bomba de vacío y, al abrir el grifo de entrada del aire suavemente, veremos cómo el nitrógeno sólido se funde, pero la temperatura aún se mantiene muy baja, por debajo de los  $-200^{\circ}\text{C}$  y la presión vuelve a ser la atmosférica. Sacaremos el tapón del vaso y observemos ahora el contenido del mismo. Está turbio y se ven pequeños cristallitos blancos en su interior. Se trata de aire viciado de la sala donde se hacen las experiencias, muy lleno de dióxido de carbono y de vapor de agua. Si lo tiramos al suelo volverá al mismo lugar donde ha salido, por el efecto calefacción.

### ***20.- Paramagnetismo del oxígeno líquido.***

Volvamos ahora al cono de latón. En el momento que un pequeño chorrito de oxígeno salga de la punta del cono, podemos aproximar un potente imán de neodimio. Veremos como el chorro de oxígeno se pega al imán. El oxígeno es paramagnético. Cada uno de sus átomos es como un pequeño imán.

Con un núcleo de hierro en forma de herradura y dos imanes de neodimio potentes en forma de bola (o similar) se puede construir un imán potente que tenga entre los dos polos aproximadamente un centímetro de separación. Si echamos nitrógeno líquido entre los dos polos no pasa nada, pero si echamos un poco del oxígeno que hemos obtenido en el termo, veremos como éste se pega entre los dos polos y no cae formando como un puente, hasta evaporarse por completo.

### ***21.- Experiencias diversas con oxígeno líquido.***

Si aún disponemos de una cantidad apreciable de oxígeno líquido podemos hacer las siguientes experiencias:

a) Prepararemos un vaso de  $250\text{ cm}^3$  lleno hasta los 200 con agua destilada. Y prepararemos una brocheta encendida y apagada de tal manera que quede un punto de ignición. Verteremos un poco de oxígeno líquido encima del agua. Mientras observamos el efecto calefacción, veremos como parte del oxígeno se introduce en el interior del agua (el oxígeno tiene una densidad superior y quiere ir al fondo; el efecto calefacción se lo impide). A continuación acercamos a la niebla la brocheta. Veremos como se enciende con llama brillante, demostrando que se trata de oxígeno. Es muy espectacular ver una llama dentro de la niebla. Para hacer esta experiencia hay que tener bastante oxígeno licuado en el interior del termo. Si hay poco se evaporará enseguida por el efecto calefacción.

b) Necesitaremos un recipiente de hierro. Puede ser perfectamente una lata ancha o algún recipiente ancho de acero inoxidable. Pondremos un poco de algodón (muy poco) y lo empaparemos de oxígeno líquido. Lejos prepararemos una brocheta larga de madera, encendida por una punta (con llama). Acercamos la llama al algodón y se produce una pequeña explosión. Es la reacción entre el oxígeno y la

celulosa, hecha de una manera muy rápida. Hay que poner muy poca cantidad de algodón. Si hay mucha la explosión puede ser peligrosa.

## **22.- Superconductores. Efecto Meissner.**

Los superconductores son materiales (aún en fase de investigación) que conducen la corriente eléctrica sin poner ninguna resistencia. Otra propiedad mediante la cual se puede identificar es el llamado Efecto Meissner el cual consiste en levitar sobre un imán (o un imán levita sobre un superconductor). Estos materiales tienen nula su permeabilidad magnética y, por tanto, ningún campo magnético puede penetrar en su interior.

Usaremos una "pastilla" de YBACUO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ), un material de  $-181^\circ\text{C}$  de temperatura crítica (aquella a la que se convierte en superconductor). Pondremos la pastilla dentro de un recipiente cóncavo pequeño (puede ser una "mermeladera" de cristal "duralex") y la sumergiremos con nitrógeno. Hay que usar una cuchara que no sea de hierro para ir echando nitrógeno con el fin de enfriar la pastilla constantemente. Pondremos el imán encima y lo rechaza. Veremos que cuesta mucho estabilizar la levitación. Lo que tenemos que hacer es acercar con fuerza el imán hasta la superficie de la pastilla sumergida en el nitrógeno, aunque sintamos una fuerte repulsión. En este momento se crean unos vórtices en el mismo superconductor por donde penetra un poco el campo magnético. Al levantar el imán, el superconductor le sigue como si estuviera colgando. Después, el imán puede levitar perfectamente sobre el mismo.

## **23.- Gran efecto calefacción.**

Esta experiencia se realizará siempre al final de la sesión si todavía sobra nitrógeno en los recipientes utilizados. Se trata de tirarlo al suelo con un impulso lateral. Se observan las bolitas que se mueven en el suelo y a la vez se vaporizando. Y ver también la nube que generan. Si se hace en una sala con gradas (y por tanto con escalones), las cascadas de niebla son muy espectaculares. Si antes hemos mojado un poco del suelo con agua y todavía está húmedo, al tirar el nitrógeno la nube es mucho más intensa.

Madrid 18 de noviembre de 2011