



Experimentos con CO₂

PALABRAS CLAVE

Nieve carbónica (hielo seco), 195,15 K -108,4 °F sublimación, disolución de gases en líquidos, reacciones ácido-base, reacciones de neutralización, indicadores ácido-base.

INTRODUCCIÓN

Nieve carbónica

La nieve carbónica es dióxido de carbono en estado sólido. Es más conocido comúnmente como hielo seco, debido a que al calentarse no pasa por el estado líquido, si no que directamente se produce el cambio de estado de sólido a gas. A este proceso de cambio de estado de sólido a gas, que presentan todos los sólidos a presiones situadas por debajo de la de punto triple, se le conoce como sublimación. Para la nieve carbónica el punto triple está situado a 5,11 atm a $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque a presión atmosférica el dióxido de carbono sólido tiene una temperatura de $-78,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ $195,15\text{ K}$ $-108,4\text{ }^{\circ}\text{F}$. Estos valores también indican que el CO₂ puede ser líquido a presiones superiores a 5,11 atm.



En el aire, este gas que no es tóxico ni corrosivo, pero sí asfixiante, se encuentra en un porcentaje próximo al 0,03%, y además forma parte de los minerales, de las aguas de manantiales y del gas de los volcanes. Su exceso en la atmósfera origina el sobrecalentamiento de la misma debido a la absorción de radiación IR procedente de la Tierra en lo que se conoce como efecto invernadero intensificado.

No se tiene constancia de que la nieve carbónica exista de forma natural en la Tierra, sin embargo parece ser que se encuentra presente en el núcleo de los cometas así como en los casquetes polares de Marte.



La producción de nieve carbónica aprovecha el conocido efecto Joule-Thompson mediante compresiones y expansiones bruscas del gas. Primero se licua el gas sometiéndolo a una presión aproximadamente de 64 kg/cm^2 mediante compresores que actúan en tres fases y luego se introduce en condensadores refrigerados con agua; a continuación, se deja que el líquido se expanda a presión atmosférica, con lo que su temperatura desciende por debajo del punto triple. El resultado es la formación de la nieve carbónica, que una vez extraída de la cámara de expansión se comprime mecánicamente para formar bloques de forma cilíndrica.

El producto así obtenido se aplica en múltiples procesos, por ejemplo:

- Refrigeración: Como es sabido, la refrigeración impide o retrasa el desarrollo de bacterias y mohos, además impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar a temperatura ambiente. Tiene por objeto enfriar alimentos, conservar determinadas sustancias perecederas, pieles, productos farmacéuticos, etc. La nieve carbónica presenta un mayor poder de refrigeración que el hielo; así, medio kilogramo de CO_2 sólido a presión atmosférica produce un efecto refrigerante de unas 7000 calorías.
- Extintores de incendios: En estos aparatos se almacena el gas en forma líquida a presión elevada. Al descargarse se solidifica parcialmente formando copos blancos, por lo que estos extintores se llaman de nieve carbónica. Apaga principalmente por sofocación, desplazando el oxígeno del aire y produciendo a la vez un enfriamiento. Se emplea para apagar fuegos sólidos y líquidos (clases A y B). El CO_2 no mantiene la combustión de los combustibles habituales (derivados del carbono).
- Criocirugía: La nieve carbónica puede producir temperaturas adecuadas para el tratamiento de lesiones cutáneas benignas y superficiales (para las que se requieren temperaturas de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$), tales como las verrugas o la queratosis solar, aunque no son tan eficaces como el nitrógeno líquido para destruir los cánceres cutáneos.
- Producción de lluvia artificial: Es interesante la utilización del CO_2 sólido para eliminar las nubes sobre los aeródromos. Las nubes están compuestas de diminutas gotas de agua sobreenfriada, un estado metaestable cuya perturbación puede conducir a la precipitación de lluvia o nieve. Esto se logra dispersando sobre las nubes CO_2 sólido desmenuzado en forma de pequeñas partículas. Cada granito de CO_2 al atravesar la nube provoca la cristalización de las gotas vecinas, creando un número enorme de copos de nieve germinales. Como la presión del vapor de agua sobre estos copos es menor que sobre el agua sobreenfriada, crecen y precipitan.



- **Abono carbónico:** El aumento del contenido de CO₂ en el aire de los invernaderos conduce a la estimulación del crecimiento de las plantas; esto se puede conseguir colocando pedazos de hielo seco. Para la mayoría de hortalizas el contenido más favorable resulta de 0,2 a 0,3% en volumen, en contraste con el contenido "natural" 0,03% en volumen.

En los laboratorios existen accesorios que permiten obtener pequeñas cantidades con diferentes formas, en función de los accesorios empleados, a partir de balas de CO₂.

EXPERIENCIAS

- **Experiencia 1: Deslizar un trozo de nieve carbónica sobre una superficie**

Material: nieve carbónica.

Si se coloca un trozo sobre una superficie lisa y se le da un ligero impulso, el hielo seco se desliza casi sin rozamiento.

- **Experiencia 2: Introducir un trozo de nieve carbónica en un vaso con agua**

Material: nieve carbónica, vaso de precipitado, agua.

Al introducir un trozo de nieve carbónica en un vaso de agua (si está caliente el efecto se verá intensificado) se produce un intenso burbujeo y se forman "humos" blancos que se deslizan por el exterior del recipiente hacia abajo.

- **Experiencia 3: Apagando velas**

Material: nieve carbónica, vaso de precipitado con velas de distintos tamaños, cerillas.

Al volcar suavemente el recipiente con nieve carbónica sobre las velas, estas se irán apagando en sentido ascendente.

- **Experiencia 4: Jugando con globos**

Material: nieve carbónica, globos.

Al introducir un trozo de nieve carbónica en un globo y cerrarlo posteriormente se aprecia cómo el globo se infla lentamente sin que en su interior aparezcan gotas de líquido, y además este globo así inflado no puede ascender espontáneamente.



- **Experiencia 5: Carácter ácido del CO₂ en agua**

Material: nieve carbónica, vaso de precipitado, agua, azul de bromotimol, disolución de hidróxido sódico 2N.

En un vaso de precipitado se agrega agua, una pizca de azul de bromotimol (hasta coloración azul patente) y dos o tres gotas de disolución de hidróxido sódico de manera que el sistema mantenga un pH básico (comprobar con papel indicador). A continuación, se coge un poco de nieve carbónica y se introduce en el interior del recipiente, sobre la disolución. Se agita vigorosamente, observándose burbujas de dióxido de carbono y una neblina blanca. Tras unos momentos agitando, la disolución se vuelve amarilla (comprobar el pH con papel indicador). El color azul original se restablece al añadir nuevamente unas gotas de la disolución de hidróxido sódico. Mientras siga quedando CO₂ sólido sobre la superficie, puede repetirse el proceso observando nuevamente el paso de la disolución a amarillo.

FUNDAMENTO TEÓRICO

- **Experiencia 1: Deslizar un trozo de nieve carbónica sobre una superficie**

El hielo seco se desliza casi sin rozamiento ya que se forma un "colchón de gas" entre el bloque de hielo y la mesa.

- **Experiencia 2: Introducir un trozo de nieve carbónica en un vaso con agua**

Al aumentar la temperatura, se forma CO₂ gaseoso, que se disuelve relativamente poco en el agua (1,5 g/litro de agua a 25 °C y 1 atm) y se desprende en forma de grandes burbujas. Los "humos" blancos son en realidad una niebla de finas gotitas de agua arrastradas por el CO₂ y se deslizan por el exterior del recipiente hacia abajo porque el CO₂ es más denso que el aire (1,5 veces, aproximadamente).

- **Experiencia 3: Apagando velas**

La llama de una vela, como toda combustión, se alimenta de oxígeno. Si se deja salir con cuidado el dióxido de carbono gaseoso desde un recipiente contenedor, y se vierte sobre el vaso que contiene las velas, este fluirá rápidamente al fondo del vaso y desplazará al oxígeno al ser más denso que este. Al no ser combustible (no arde), ni comburente (no deja arder), apagará la llama. Si ponemos las velas a varias alturas, estas se irán apagando secuencialmente de abajo a arriba.

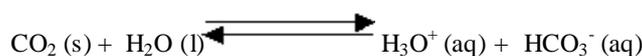


• **Experiencia 4: Jugando con globos**

En el caso del globo con nieve carbónica en su interior, el volumen aumenta puesto que está aumentando la cantidad de gas en su interior según sublima el CO₂. No aparecen gotas porque el CO₂ no pasa por estado líquido y el globo no flota en el aire porque el CO₂ que hay en su interior es más denso que el aire circundante.

• **Experiencia 5: Carácter ácido del CO₂ en agua**

El CO₂ se disuelve en agua y su presencia en esta da lugar a una reacción de hidrólisis en la que se generan protones:



Al añadir unas gotas de hidróxido potásico a la disolución de azul de bromotimol, el agua resultante es básica y la disolución presenta un color azul intenso. La presencia de CO₂ en el medio libera protones, neutralizando los grupos hidroxilo de la base, hasta que la disolución se vuelve finalmente ácida y su color pasa a amarillo. El color azul original se restablece al añadir unas gotas disolución de hidróxido de sodio ya que los grupos hidroxilo neutralizan ahora a los protones y el pH aumenta. Sin embargo, la disolución se volverá de color amarillo mientras la nieve carbónica esté presente.

Debido a que el azul de bromotimol cambia de color en función del pH (ácido-básico), de una forma reversible y estable, se dice que es un indicador ácido-base. La base de este cambio de color se debe a reacciones ácido-base entre la disolución y el propio indicador diferentes a la reacción principal (en este caso CO₂(aq) y NaOH) que llevan a cambios importantes en la distribución electrónica a nivel π, modificando la energía de estos niveles electrónicos y llevando, por tanto, a la apreciación de un color diferente.

TEMAS RELACIONADOS

Diagrama de fases

En este tipo de diagrama, en abscisas aparece la temperatura y en ordenadas la presión. Las líneas representan estados de equilibrio entre las fases (coexistencia de fases). En las zonas limitadas por estas líneas solo es posible, de forma estable, la existencia de una única fase. El punto triple, intersección de las tres líneas de equilibrio corresponde a las condiciones de presión y temperatura en que las tres fases se encuentran en equilibrio, es decir, pueden coexistir.



A la vista del diagrama de fases para el caso del CO₂ (Figura 1), puede verse que este no puede transformarse en líquido a presión atmosférica, ya que sublima sin pasar por líquido. Ello es fácilmente verificable siguiendo la línea horizontal correspondiente a 1 atmósfera; a -78 °C esta horizontal atraviesa la línea de equilibrio sólido-vapor y el CO₂ sublima, es decir pasa directamente de sólido a gas. El punto triple se encuentra por encima de 1 atmósfera de presión y la presión de vapor del sólido alcanza la presión atmosférica antes de que aparezca la fase líquida, en consecuencia, se produce la sublimación.

También podemos ver que podemos tener CO₂ líquido a presiones superiores a 5,11 atm y temperaturas por encima de -56.6 °C (por ejemplo, a 0 °C y 60 atm), con el límite de 31,1 °C (punto crítico). Es decir, el CO₂ no se puede licuar por encima de esta temperatura, independientemente del valor de presión.

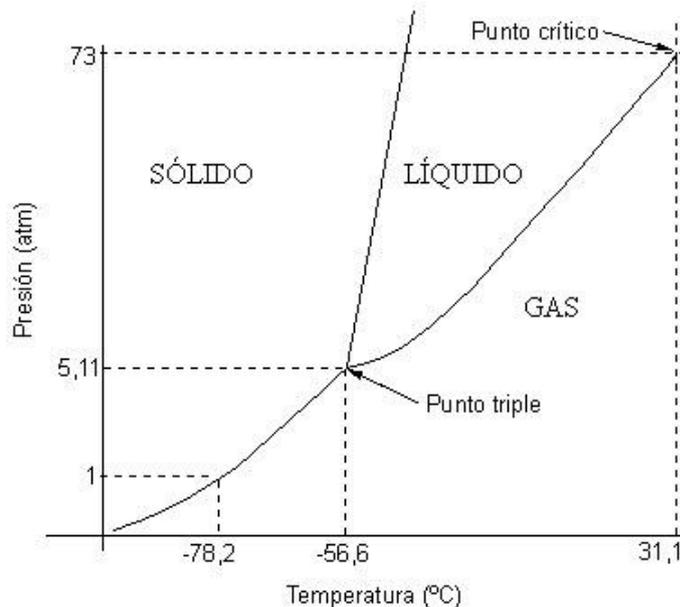


Fig.1: Diagrama de fases del CO₂

En el agua, sin embargo el punto triple se encuentra a 4,6 mm Hg de presión y 0,0098 °C de temperatura, es decir, muy por debajo de 1 atmósfera; por eso, a esta presión el aumento de temperatura de una muestra de hielo significa primero la fusión a 0 °C y la ebullición a 100 °C. A temperaturas superiores a 100 °C solo es posible el estado de vapor.



CUESTIONES

- **Experiencia 2: Introducir un trozo de nieve carbónica en un vaso con agua**

Preguntar a los alumnos por qué el gas formado desciende rápidamente.

- **Experiencia 3: Apagando velas**

Antes de volcar el recipiente, preguntar a los alumnos qué piensan que va a ocurrir.

- **Diagrama de fases**

Consultar el diagrama de fase para el agua y compararlo con el del CO₂ y otros gases.

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/taller/fisica/energia/gases-criogenicos/default.asp>

http://www.madrimasd.org/experimentawiki/feria/Nitr%C3%B3geno_l%C3%ADquido_y_nieve_carb%C3%B3nica

<http://www.profes.net/varios/feria/fichas/secundaria/magiadelco2/index.html>

http://www.fq.profes.net/especiales2.asp?id_contenido=44796

www.librosite.net/data/glosarios/petrucci/videos/cap8/elcaracteracidodeldioxidodecarbonoenagua.doc

http://www.librosite.net/data/glosarios/petrucci/videos/cap17/caracteracido_deldioxido_de_carbono.htm

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

Se obtendrá aceite de semillas de girasol mediante extracción con hexano y posterior destilación de la mezcla aceite-disolvente. El disolvente se recupera para extracciones posteriores.

MATERIALES NECESARIOS

- Semillas de girasol, 2 kg
- Hexano, 15 L
- Agua, 9 L



Universidad de Granada

Prácticas docentes en la Facultad de Ciencias

COD: 10-71

- Embudo de decantación, 1 L
- Vaso de precipitado, 500 mL
- Matraz erlenmeyer, 500 mL
- Matraz erlenmeyer, 5L

*Campus Fuentenueva
Avenida Fuentenueva s/n
18071 Granada
Tfno. 958 24 33 79
Fax. 958 24 33 70
decacien@ugr.es*

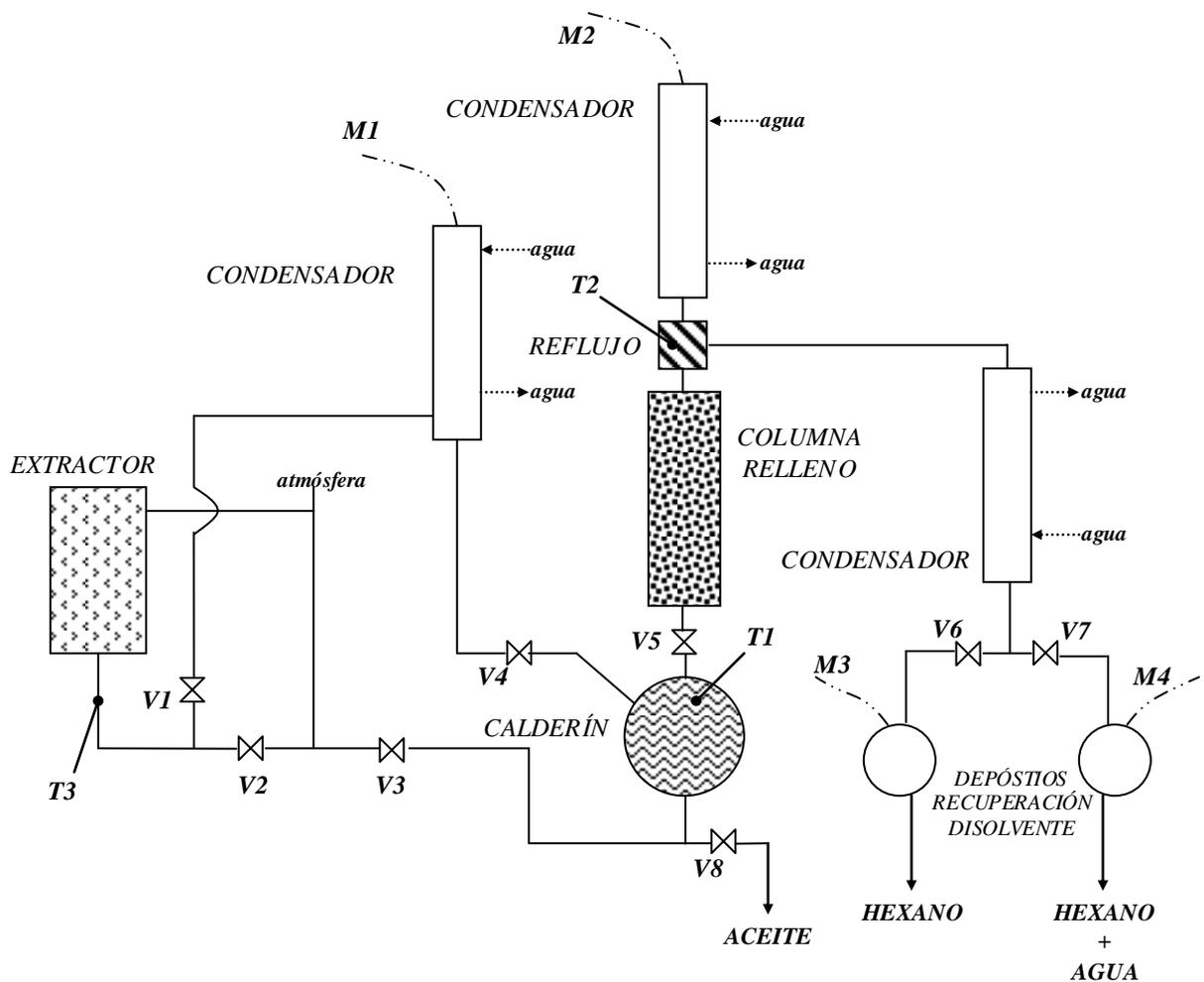
Facultad de Ciencias

Viicedecanato de Actividades Científicas, Culturales y de Prácticas Externas





- Balanza
- Tanque de 25L con agua para recuperación de hexano ocluido en semillas.
- Planta Piloto para Extracción:
 - Extractor Sólido-Líquido
 - Columna de Destilación/Rectificación





METODOLOGÍA

1. Cargar el extractor por inmersión con aproximadamente 2 kg de semillas de girasol, previamente trituradas y homogeneizadas. Las semillas deben estar contenidas en el saco de fibra dispuesto al efecto.
2. Abrir el paso de agua al condensador del extractor y cargar a continuación el calderín con 15 litros de hexano y activar la resistencia inferior de la manta eléctrica.
3. Extraer durante 1 h contando el tiempo a partir del momento en que se establece el ciclo de retorno del hexano al calderín.
4. Transcurrido este tiempo se procede a la destilación de la mezcla aceite-disolvente. A continuación se procede a enfriar el calderín, se carga con agua y se realiza una destilación mediante arrastre con vapor.
5. Recoger el aceite en un matraz previamente tarado, secar en estufa para eliminar las trazas de disolvente y pesar.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Cargar el extractor por inmersión con aproximadamente 2 kg de semillas de girasol, previamente trituradas y homogeneizadas. Las semillas deben estar contenidas en el saco de fibra dispuesto al efecto.
2. Abrir el paso de agua al condensador del extractor y cargar el calderín con 15 litros de hexano.
3. Comprobar que las válvulas V1, V3 y V4 están abiertas. Todas las restantes deben estar cerradas.



4. Activar la resistencia inferior e intermedia (full, $T \approx 200-250\text{ }^{\circ}\text{C}$) del calderín y comprobar que las mangueras M1 y M2 están sumergidas en recipiente con 0.5 L de agua a fin de evitar escapes de hexano (sello hidráulico).
5. Activar la resistencia eléctrica externa fijando $T_{\text{máx}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (medida por T3).
6. Extraer durante 1 h contando el tiempo a partir del momento en que se establece el ciclo de retorno del hexano al calderín (se puede realizar una extracción parcial la mañana previa a fin de aligerar la práctica por la tarde).
7. Cortar resistencia eléctrica del calderín, sacar M1 y M2 del agua (para evitar aspiraciones de agua por vacío), abrir válvula V5.
8. Abrir V2 para llevar la mezcla hexano-aceite del extractor al calderín.
9. Dejar escurrir el saco de semillas, a continuación extraerlo y llevarlo a tanque con agua para recuperar el hexano ocluido en las semillas, aproximadamente 3L (se decanta al día siguiente).
10. Abrir el paso de agua al condensador del destilador y a continuación cerrar el del condensador del extractor.
11. Abrir V3 e introducir aproximadamente 12 litros de agua templada (aproximadamente $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) a través de la tapa superior del extractor (inicialmente hacerlo lentamente para evitar cambios bruscos de temperatura).
12. Cerrar V3 y V4 y conectar la regulación del reflujo en modo destilado total.



13. Conectar resistencias inferior (full, $T \approx 200-250$ °C), intermedia (full, $T \approx 200-250$ °C) y superior (posición 3-4, $T = 150$ °C) del calderín. Sumergir M1 y M2 en recipiente con agua (sello hidráulico).
14. Abrir V6 y sacar M3 del agua para permitir el flujo de hexano hacia el depósito de recogida.
15. Vigilar el nivel del calderín durante la destilación para ir apagando progresivamente las resistencias cuando el nivel del líquido esté por debajo de ellas.
16. Cuando T1 comience a superar 80-85°C abrir V7 (se habrán recogido aproximadamente 8-10 litros de hexano), sacar M4 del agua y cerrar V6. Sumergir M3 en el agua (para evitar pérdidas de hexano).
17. Continuar la destilación hasta que $T1 = 100$ °C y $T2 = 95$ °C.
18. Apagar resistencia inferior del calderín y sacar M1 y M2 del agua.
19. Abrir V8 para recoger la mezcla agua-aceite del calderín y cerrar nuevamente V8. Llevar la mezcla al decantador y separar aceite del agua.
20. Cerrar V7 y sumergir M4 (para evitar pérdidas de hexano). Al día siguiente recuperar el hexano de los depósitos de recuperación de disolvente. En el depósito de agua-hexano eliminar previamente el agua por decantación.



CUESTIONARIO PARA LOS ALUMNOS

1. Quién es más volátil, el aceite de girasol o el hexano.
2. ¿Cuál es la temperatura de ebullición del hexano?
3. ¿Para que sirve la resistencia eléctrica externa alrededor del extractor?
4. ¿Por qué se molturan las semillas de girasol?
5. ¿Cuál es la función y como actúan los “sellos hidráulicos”?
6. ¿Qué diferencia hay entre destilación y rectificación?
7. ¿Qué parámetro controla la composición y la cantidad de destilado obtenido en una rectificación?
8. ¿Para que se añade agua en medio del proceso de destilación?
9. ¿Qué es una destilación con arrastre de vapor de agua?
10. ¿Cómo se observa visualmente el comienzo de la evaporación del agua?
11. Durante la etapa de recuperación del disolvente anotar la temperatura de ebullición de la mezcla ternaria agua-aceite-hexano frente al volumen de hexano recogido para cada litro de hexano recuperado. Representar la temperatura de ebullición frente a la fracción másica de hexano en el calderín; justifique descriptivamente la evolución de ésta temperatura. Para poder calcular la fracción másica de hexano considere lo siguientes datos:
 - a. Volumen inicial de hexano en el calderín al comienzo de la destilación: 12 L (se considera que de los 15 L iniciales 3 L se han quedado ocluidos en las semillas tras la extracción).
 - b. Densidad del hexano a 25 °C: 660.6 kg/m³.
 - c. Volumen de agua añadida al comienzo de la destilación: 12L.
 - d. Densidad del agua a 60 °C: 983.2 kg/m³.



Universidad de Granada

Prácticas docentes en la Facultad de Ciencias

COD: 10-71

12. Los calores latentes de vaporización del agua y del hexano a sus temperaturas de ebullición son 40.65 y 28.85 kJ/mol respectivamente, ¿cuál de los dos compuestos se vaporiza más fácilmente?
13. ¿Cómo se determina que se ha arrastrado todo el hexano fuera de la columna de destilación?
14. Suponiendo que las semillas de girasol tienen un contenido en aceite del 30.5% (p/p), ¿Cuál es el rendimiento de extracción del aceite?
15. El aceite obtenido, ¿es de uso comercial para la alimentación o precisa algún tratamiento posterior? En caso de tratamiento posterior, ¿cómo se denomina dicho tratamiento y que operaciones pueden llevarse a cabo en él?