

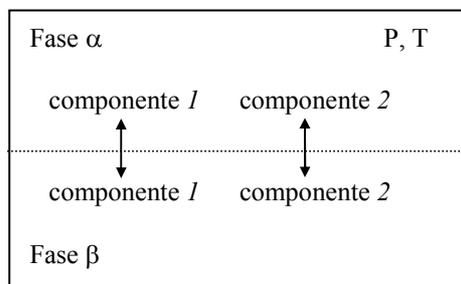
Trabajo Práctico: ESTUDIO DEL EQUILIBRIO LÍQUIDO VAPOR DE SISTEMAS BINARIOS

OBJETIVOS

1. Determinación experimental del diagrama de equilibrio líquido-vapor (T x y) a presión atmosférica de un sistema binario totalmente miscible en ambas fases.
2. Cálculo de los coeficientes de actividad de los componentes de la solución en fase líquida.
3. Modelado de la fase líquida y determinación de la ecuación de correlación de la energía libre de exceso y de los coeficientes de actividad más adecuada para el sistema en estudio.

CONCEPTOS BASICOS

Considérese un sistema bifásico (α, β), con componentes 1 y 2 en ambas fases, siendo la interfase permeable a ambos,



La condición de equilibrio de fases establece que deberá verificarse simultáneamente para cada componente la igualdad de su fugacidad parcial en ambas fases:

$$\bar{f}_i^\alpha(T, P^\alpha, x_i^\alpha) = \bar{f}_i^\beta(T, P^\beta, x_i^\beta) \quad (1)$$

Para aplicar la ecuación (1) se deberá conocer la dependencia de la fugacidad con la composición. Para ello se recurrirá a alguna de las dependencias conocidas. En el caso del equilibrio líquido-vapor es usual desarrollar la fugacidad parcial en la fase gaseosa mediante el coeficiente de fugacidad parcial del componente i ($\bar{\phi}_i$):

$$\bar{f}_i^v(T, P, y_i) = \bar{P}_i \bar{\phi}_i(T, P, y_i) = P y_i \bar{\phi}_i(T, P, y_i) \quad (2)$$

Para la fase líquida se pueden adoptar dos estados de referencia: Estado de Referencia Solución Perfecta (ERSP) o Estado de Referencia Solución Diluida Ideal (ERSDI). Para el presente análisis se recurrirá al desarrollo de la fugacidad parcial en el estado de referencia solución perfecta:

$$\bar{f}_i^l(T, P, x_i) = \bar{f}_i^{ol}(T, P) x_i \gamma_i(T, P, x_i) = P_i^o(T) \phi_i^o(T, P) x_i \gamma_i(T, P, x_i) \quad (3)$$

Siendo $\gamma_i(T, P, x_i)$ el coeficiente de actividad del componente i en la fase líquida en el ERSP y $\bar{f}_i^{ol}(T, P)$ la fugacidad del componente i puro a la temperatura y presión del sistema (en el mismo estado de agregación que la solución que se describe).

Considerando las ecuaciones (2) y (3) para las dos fases en equilibrio, la ecuación (1) puede escribirse como:

$$P_i^o(T) \phi_i^o(T, P) x_i \gamma_i(T, P, y_i) = P y_i \bar{\phi}_i(T, P, y_i) \quad (4)$$

donde $P_i^o(T)$ es la presión de vapor del componente i puro a la temperatura del sistema.

Dadas las condiciones experimentales del trabajo práctico se puede realizar la aproximación $\phi_i^o(T, P) \cong \bar{\phi}_i(T, P, y_i) \cong 1$. Por lo tanto, haciendo esta consideración puede establecerse la dependencia entre los parámetros experimentales (T, P, x_i, y_i) y el coeficiente de actividad (γ_i) :

$$\gamma_i [T(x_i), P, x_i] \cong \frac{P y_i(x_i)}{P_i^o [T(x_i)] x_i} \quad i = 1, 2 \quad (5)$$

pudiéndose calcular de esta manera experimentalmente.

Nótese que se expresó la dependencia de la temperatura con la composición $T(x_i)$, para resaltar el hecho de que en el equilibrio líquido-vapor a presión constante no se puede modificar la composición de las fases sin variar la temperatura. Este aspecto es sumamente importante ya que los coeficientes de actividad evaluados serán isobáricos aunque no isotérmicos.

VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES. TEST DE AUTOCONSISTENCIA TERMODINÁMICA

La ecuación (5) permite evaluar, a partir de los datos experimentales T, x e y , los coeficientes de actividad de cada componente en la fase líquida: $\gamma_i(T(x_i), P, x_i, y_i)$. Si la variación de la temperatura con la composición no es significativa, se puede considerar como aproximación que los coeficientes de actividad obtenidos sólo reflejan variaciones de la composición, $\gamma_i(P, x_i, y_i)$, por lo tanto los mismos deben satisfacer la ecuación de Gibbs-Duhem:

$$\sum x_i d \ln \gamma_i \Big|_{T,P} = x_1 d \ln \gamma_1 + x_2 d \ln \gamma_2 \Big|_{T,P} = 0 \quad (6)$$

ecuación diferencial que refleja claramente que las propiedades molares parciales (como el logaritmo del coeficiente de actividad) no son independientes entre sí.

Dado que los coeficientes de actividad son determinados experimentalmente en forma independiente (por aplicación de la ecuación 5), es conveniente verificar si estos datos experimentales son consistentes con la ecuación de Gibbs-Duhem. Para ello se recurre al denominado Criterio de Autoconsistencia o Test de Consistencia Termodinámica:

$$\int_{x_i=0}^{x_i=1} dg^e = \int_{x_i=0}^{x_i=1} \ln \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right)_{\text{exp}} dx_1 \cong 0 \quad (7)$$

Dicha condición debe cumplirse en los resultados experimentales obtenidos en el Trabajo Práctico.

El logaritmo del coeficiente de actividad presenta una dependencia con la temperatura más fuertemente que con la presión. De aquí que los resultados obtenidos de experiencias realizadas en

condiciones isotérmicas presenten mejores resultados que aquellos obtenidos de experiencias en condiciones isobáricas.

MODELADO DE LA FASE LÍQUIDA. DETERMINACIÓN DE LA ECUACIÓN DE CORRELACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ACTIVIDAD

A partir de los datos experimentales obtenidos se puede confeccionar una tabla consignando los valores experimentales de los coeficientes de actividad (en ERSP) calculados en función de la composición en fase líquida ($\ln \gamma_1, \ln \gamma_2, x_1$). Dichos resultados pueden ser luego representados mediante una ecuación analítica. Para ello se recurre a las denominadas ecuaciones de correlación, expresiones con capacidad para describir adecuadamente la dependencia $\ln \gamma_i(x_i)$. Dichas ecuaciones deberán cumplir con las restricciones que impone la Termodinámica de Soluciones. Estas restricciones son:

(a) satisfacer la ecuación de Gibbs-Duhem

(b) satisfacer las conductas límites:

$$\lim_{x_i \rightarrow 1} \ln \gamma_i = 0 \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

$$\lim_{x_i \rightarrow 1} \frac{\partial \ln \gamma_i}{\partial x_i} = 0 \quad i = 1, 2 \quad (9)$$

Para correlacionar simultáneamente ambos coeficientes de actividad respetando las restricciones antes mencionadas se recurre a la energía libre de exceso (g^e),

$$\frac{g^e(x)}{RT} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \gamma_i \quad (10)$$

la cual presenta las siguientes conductas límites,

$$\lim_{x_i \rightarrow 1} g^e(x) = 0 \quad i = 1, 2 \quad (11)$$

$$\lim_{x_i \rightarrow 0} \frac{\partial (g^e / RT)}{\partial x_i} = \lim_{x_i \rightarrow 0} \ln \gamma_i = \ln \gamma_i^\infty \quad (12)$$

siendo γ_i^∞ el coeficiente de actividad a dilución infinita.

Existen diferentes tipos de ecuaciones para correlacionar $g^e(x)$, las cuales pueden agruparse en tres tipos: las ecuaciones semiempíricas (ecuaciones de Porter, Margulles, Van Laar), ecuaciones de segunda generación (Wilson) o las que considera interacciones moleculares (Unifaq, NRTL, etc). Para este análisis, se considerarán las siguientes ecuaciones:

- **Porter:**

$$\frac{g^e(x)}{RT} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \gamma_i = A x_1 x_2 \quad (13)$$

- **Margulles:**

$$\frac{g^e(x)}{RT} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \gamma_i = x_1 x_2 (A_1 x_2 + A_2 x_1) \quad (14)$$

- **Van Laar:**

$$\frac{g^e(x)}{RT} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \gamma_i = x_1 x_2 \frac{A_1 A_2}{(A_1 x_1 + A_2 x_2)} \quad (15)$$

- **Wilson:**

$$\frac{g^e(x)}{RT} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \gamma_i = - \left[x_1 \ln(x_1 + \Lambda_{12} x_2) + x_2 \ln(x_2 + \Lambda_{21} x_1) \right] \quad (16)$$

Los datos experimentales obtenidos pueden ser correlacionados por estas ecuaciones. Aquella que mejor correlación presente será la ecuación que mejor ajusta a dichos resultados experimentales.

Conocida la ecuación de correlación y sus constantes, podemos hacer uso de las correspondientes dependencias de los coeficientes de actividad con la composición, que para los casos antes mencionados son,

- **Porter:**

$$\ln \gamma_i = A x_j^2 \quad (17)$$

- **Margulles:**

$$\ln \gamma_i = x_j^2 [A_i + 2x_j (A_j - A_i)] \quad (18)$$

- **Van Laar:**

$$\ln \gamma_i = \frac{A_i A_j^2 x_j^2}{(A_i x_i + A_j x_j)^2} \quad (19)$$

- **Wilson:**

$$\ln \gamma_i = - \ln(x_i + \Lambda_{ij} x_j) + x_j \left[\frac{\Lambda_{ij}}{x_i + \Lambda_{ij} x_j} - \frac{\Lambda_{ji}}{x_j + \Lambda_{ji} x_i} \right] \quad (20)$$

la que nos permitirá describir la dependencia analítica de $\ln \gamma_i(x)$ a partir del modelado correspondiente de los resultados experimentales (las constantes aquí empleadas son las obtenidas del modelado de $g^e(x)$).

TECNICA EXPERIMENTAL

a) Descripción del equipo

El equipo que se utilizará fue diseñado originalmente por Hipkin y Myers (1954) y su característica más importante es su capacidad de recirculación de vapor con el objeto de mejorar los procesos de transferencia de materia con la fase líquida, facilitando la evolución hacia la condición de equilibrio. Hoy en día se disponen de otros dispositivos más apropiados que requieren del empleo de cantidades menores de sustancias (Weir y de Loos, 2007).

Un esquema del equipo se ilustra en la Figura 1, donde puede apreciarse que la corriente de condensado (9) es revaporizada en (4) por el calentador (2). La corriente de vapor generada pasa a través de los orificios (16) y burbujea a través del líquido contenido en el contactor (8). El mismo tiene forma de venturi para aumentar de velocidad de las burbujas de vapor con el fin de que éstas choquen con el extremo de la vaina del termómetro (15) mejorando la transferencia de calor y materia. El vapor es condensado en (11) y se reinicia el ciclo hasta que se alcanza el equilibrio. El equipo permite tomar muestras de la fase líquida (17) y vapor (3), en este último caso de forma condensado, a las que se le determinará su composición mediante cromatografía gaseosa. La temperatura es medida a través de un sensor colocado en la vaina (15) que permite su lectura mediante un termómetro digital.

b) Puesta a punto del equipo y método operativo

La camisa externa (19) tiene como objeto mantener al sistema en estudio de manera isotérmica. Puede actuar oficiando de aislante térmico (estando dicha camisa vacía de líquido, sólo con aire en su interior) o propiciando una temperatura igual o similar a la de trabajo del equipo. Para este último caso se coloca una sustancia tal que su temperatura de ebullición difiera mínimamente con la que presenta la cámara de equilibrio (contactor), permitiendo una operación isotérmica. En el caso del trabajo práctico, dicha camisa estará vacía y oficiará de aislante para evitar una pérdida de calor significativa, con lo cual el sistema se lo puede considerar isotérmico. Para la puesta en marcha se coloca en el sistema ambos compuestos puros a analizar su equilibrio de fases y se inicia su calentamiento.

El equipo logra llegar al equilibrio luego de al menos 20 minutos de haber realizado una modificación en la composición de las sustancias analizadas. Este equilibrio se logra se comprueba la constancia de la temperatura en dos lecturas consecutivas tomadas con un intervalo no menor de 5 minutos. Logrado esto, se debe realizar una purga de ambos lugares donde se toman las muestras líquida (17) y gaseosa condensada (3), y luego se toman simultáneamente dichas muestras a la vez que se registra la temperatura de equilibrio.

En el Trabajo Práctico se utilizarán dos dispositivos, cada uno de ellos contendrá inicialmente una cierta masa de uno de los dos compuestos a analizar más una pequeña proporción del otro compuesto. De esta manera se cubrirá todo el rango de composiciones para el sistema binario en estudio.

Para acceder a otra condición de equilibrio se agrega a través de (10) uno de los componentes (en proporciones que dependen del sistema en estudio) y se espera que se alcance nuevamente el equilibrio.

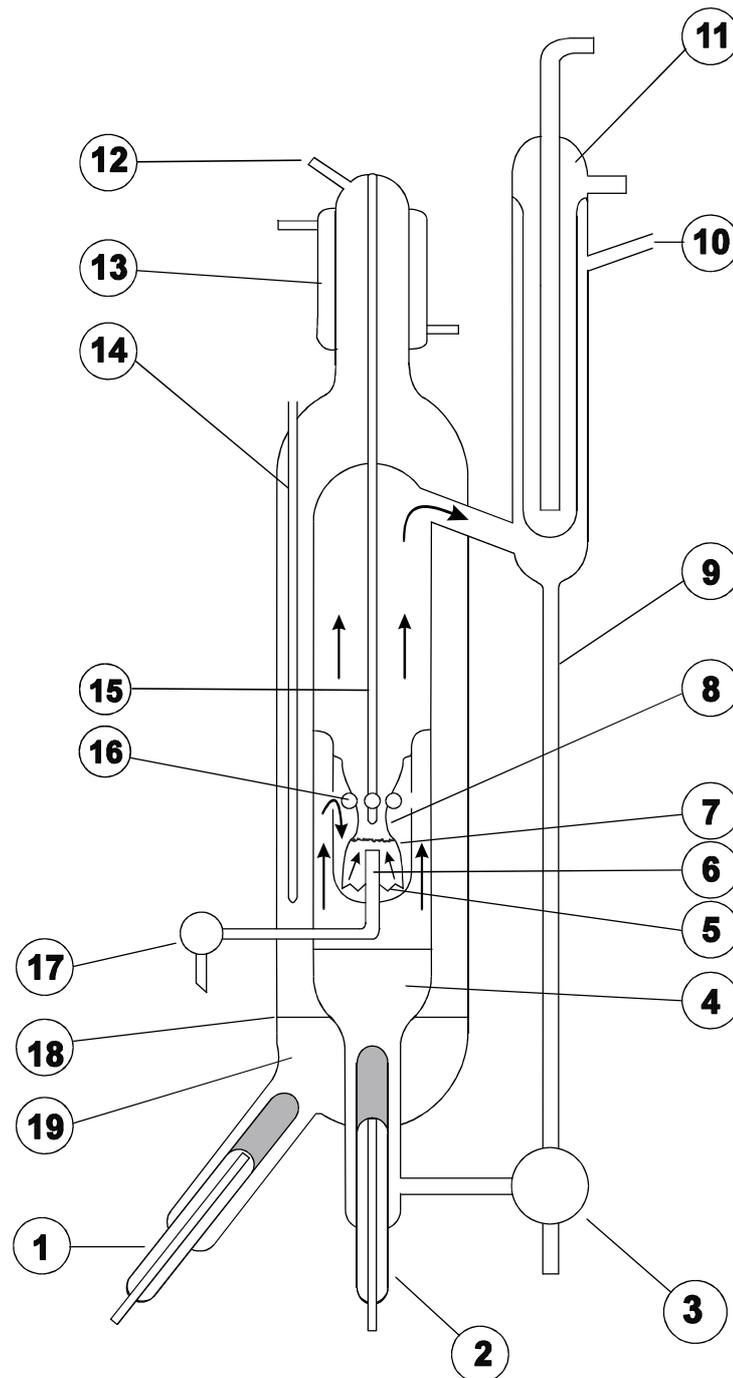


Figura 1

1. Calentador tipo bayoneta, para calefacción de la camisa de vapor.-
2. Calentador tipo bayoneta del vaporizador.-
3. Llave de tres vías, para la toma de muestras de la fase vapor que fue condensada.-
4. Vaporizador
5. Muecas triangulares para el burbujeo del vapor.-
6. Tubo central del contactor, abierto en ambos extremos con dos propósitos: promover la circulación y proveer una zona calma relativamente libre de burbujas por donde es posible extraer la muestra de la fase líquida.-
7. Nivel de líquido en el contactor.-

8. Estrechamiento en forma de venturi; tiene por objeto aumentar la velocidad del vapor con el fin de que éste choque con el extremo de la vaina del termómetro.-
9. Línea de retorno del condensado.-
10. Alimentación de la mezcla en estudio.-
11. Condensador tipo dedo frío para condensar la fase vapor que corresponde a la mezcla en estudio.-
12. Alimentación de la camisa de vapor.-
13. Refrigerante de la camisa de vapor.-
14. Vaina para el termómetro de control de temperatura en la camisa de vapor.-
15. Vaina para el termómetro de medición de la temperatura de equilibrio.-
16. Orificios para la entrada de vapor al contactor.-
17. Llave de aguja para la toma de muestra de la fase líquida.-
18. Nivel de líquido en la camisa de vapor.-
19. Camisa de vapor.-

c) Toma de muestras

Con el fin de lograr resultados óptimos la toma de muestras debe realizarse en forma simultánea en ambas fases.

Para esto se procede de la siguiente manera:

- Para la muestra de la fase líquida: se toma a través de la válvula (17) que está conectada directamente al contactor. Se debe purgar el conducto de descarga y luego tomar la muestra de unos **5 ml**. Esta operación debe realizarse de forma tal que el nivel en el contactor no descienda demasiado, a fin de que el equipo no quede sin muestra a analizar posteriormente.
- Para la muestra de la fase vapor: se toma a través de la válvula de tres vías (3) situada sobre la línea de retorno del condensado, puesto que éste tendrá la misma composición del vapor del cual proviene. Al igual que la fase líquida, se debe realizar una purga previa a la toma de muestra: se debe descargar completamente el conducto superior de vidrio, luego dejar la válvula de tres vías cerrada, impidiendo la comunicación entre los conductos.

d) Determinación de la composición

La determinación de la composición de la mezcla se realiza mediante la técnica de cromatografía gaseosa. En el Anexo de la presente Guía de Trabajos Prácticos se presenta un resumen de la técnica analítica para conocer su principio. El resultado de analizar cada muestra se presenta como un área bajo la curva del pico cromatográfico, la cual se informa de manera porcentual referida al área total de la muestra. Sabiendo que el área de cada pico (A_i) es proporcional a la masa de cada compuesto (m_i) de la muestra, se puede plantear que:

$$m_1 = k_1 A_1 \quad (21)$$

$$m_2 = k_2 A_2 \quad (22)$$

siendo k_1 y k_2 las constantes de proporcionalidad entre la masa y el área, denominándose “factores de respuesta” del detector utilizado. Definiendo la fracción másica de un compuesto i como:

$$y_i = \frac{m_i}{m_i + m_j} \quad (23)$$

Reemplazando (21) y (22) en (23) y linealizando:

$$y_i = \frac{m_i / k_i}{m_i / k_i + m_j / k_j} \quad (24)$$

la cual permite conocer las fracciones másicas de los componentes sabiendo las áreas y los factores de respuesta de cada compuesto.

Dado que en el desarrollo teórico de la presente guía se hace necesario el empleo de la concentración en unidades de fracción molar, queda para el estudiante encontrar la relación entre fracción másica y fracción molar.

CALCULOS Y RESULTADOS

1. Registrar la temperatura y las áreas cromatográficas de las muestras de fase líquida y vapor, para cada experiencia.
2. Confeccionar una tabla con los datos obtenidos y calcular los valores de los coeficientes de actividad experimentales para ambas sustancias.
3. Verificar la calidad de los resultados experimentales aplicando el criterio de autoconsistencia termodinámica.
4. Evaluar $\frac{g^e(x)}{RT} = \sum_{i=1}^n x_i \ln \gamma_i$, aplicar el criterio de selección de la ecuación correlación (ecuaciones 13 a 16) al sistema en estudiado, definir la ecuación más apropiada para el modelado de la fase líquida y determinar los valores de las constantes involucradas, según el caso adoptado.
5. Graficar las dependencias experimentales y analíticas de los $\ln \gamma_i(x)$ para cada componente y del $g^e(x)$.
6. Confeccionar los diagramas “T vs x-y” e “y vs x”. Analizar los mismos y verificar la presencia de azeótropo. Si la mezcla en estudio presenta azeótropo, comparar su composición con datos de bibliografía.

CUESTIONARIO

Preguntas a resolver antes del Trabajo Práctico:

1. Buscar en bibliografía información de T-x-y (o P-x-y) de sistemas binarios:
 - a) Que no presente azeótropo.
 - b) Que presente un azeótropo.
 - c) Que presente dos azeótropos.
2. Explique la razón por la que el Etanol se comercializa, para fines medicinales, al 96 %v/v.
3. A partir del principio de funcionamiento del detector FID, ¿es posible identificar y cuantificar compuestos como agua, nitrógeno y dióxido de carbono?

Preguntas prácticas:

1. Enumere las posibles causas de error involucradas en el trabajo práctico y cómo podría eliminarlos o reducirlos.
2. El equipo empleado, ¿opera con recirculación de líquido o de vapor? ¿Por qué?
3. Deduzca la relación que existe entre la fracción másica y molar de la acetona, empleada en el trabajo práctico.
4. Indique cómo influiría en el sistema si en la mezcla metanol / acetona se encuentra presente un tercer compuesto en fase gas (por ejemplo aire). ¿Cómo haría para eliminarlo del sistema?
5. De la siguiente lista, referida al instrumento de medición del trabajo práctico, donde el equipo está cargado inicialmente con metanol y se le agrega acetona, marque con una cruz en las casillas correspondientes:

Parámetro	Variable dependiente	Variable independiente	Constante
Masa de acetona			
Masa de metanol			
Temperatura			
Presión			
Fracción molar en fase líquida			
Fracción molar en fase gaseosa			
Fracción molar global del sistema			

Suponer que la masa extraída del sistema para análisis por cromatografía es despreciable frente a la masa del sistema.

Preguntas teóricas:

1. Demostrar que si un componente de una solución gaseosa binaria verifica en todo rango de composición que $\phi_i^{ov}(T, P) \cong \bar{\phi}_i^v(T, P, y_i)$, entonces la solución gaseosa es perfecta.
2. Deducir la ecuación (5) desarrollando la fugacidad en el estado de referencia solución perfecta para ambas fases.
3. Deducir la ecuación (7) a partir de la definición de la energía libre de exceso.
4. Deducir la expresión que permita establecer la dependencia $\ln \gamma_i = \ln \gamma_i [g^e, x_i]$ y aplicar dicha dependencia al caso del modelado de $g^e(x)$ utilizando la ecuación de Porter.

REFERENCIAS:

- Howard Hipkin y H.S. Myers, "Vapor-Recirculating Equilibrium Still". *Ind. Eng. Chem.* 46(12) (1954) 2524–2528.
- R. D. Weir and T. W. de Loos, "Measurement of the Thermodynamic Properties of Multiple Phases". *J. Chem. Eng. Data* 2007, 52, 660-661

BIBLIOGRAFÍA

- DANIELS, MATHEWS and staff - *Experimental Physical Chemistry*
- GILLILAND - *Introduction to Fractional Distillation*

- HALA, PICK and FRIED - *Vapor - Liquid Equilibrium*
- GLASSTONE, S. - *Química Física*
- HIPKIN and MYERS - *Industrial Engineering Chemistry*, **46**, 2524, (1954)
- PERRY, J.H. - *Chemical Engineer's Handbook*
- LANGE, Norbert A. - *Handbook of Chemistry*

Ana Tarditi
Érica Schulte
José Luis Fernandez
Francisco J. Passamonti
Abel C. Chialvo

Mayo / 2023

Anexo - Introducción a la Cromatografía Gaseosa

La técnica de cromatografía es un método de análisis que consiste en separar de manera física a los diferentes compuestos que una muestra contiene, mediante adsorción selectiva. La cromatografía gaseosa es la técnica cromatográfica más utilizada, donde los componentes de la mezcla a separar se distribuyen entre dos fases: una estacionaria y la otra móvil. Las dos fases se eligen de tal forma que los componentes de la muestra se distribuyan de modo distinto entre ambas. De acuerdo a la afinidad que cada compuesto de la muestra tenga con el medio cromatográfico, la velocidad con la que se mueve cada uno de ellos será diferente y, por ende, se generará una separación entre los mismos. Aquellos componentes fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil. Por el contrario, los componentes que se adsorben débilmente se mueven con más rapidez. Como consecuencia de la distinta movilidad, los componentes de la muestra se separan en bandas que pueden identificarse cualitativa y/o determinarse cuantitativamente.

A través de un dispositivo (inyector) la muestra ingresa a una columna cromatográfica que presenta una Fase Estacionaria la cual se caracteriza por tener gran desarrollo superficial y diferente adsorción para cada componente. La muestra es llevada por la columna gracias a una Fase Móvil gaseosa, también llamado gas de arrastre o gas carrier, la cual debe ser inerte (puede usarse nitrógeno o helio). En la columna se produce la separación de los componentes por medio de adsorción. Los componentes de la mezcla son eluidos de la columna a diferentes tiempos (de acuerdo a su afinidad por la fase estacionaria). Es el objetivo de esta técnica que cada componente de la muestra salga completamente separado de los demás componentes, para un correcto y posterior análisis cuantitativo mediante un dispositivo llamado detector.

Los detectores más utilizados en cromatografía gaseosa son de conductividad térmica (TCD) o de ionización de llama (FID). En la **Figura 2** se presenta un esquema general de un cromatógrafo de gases.

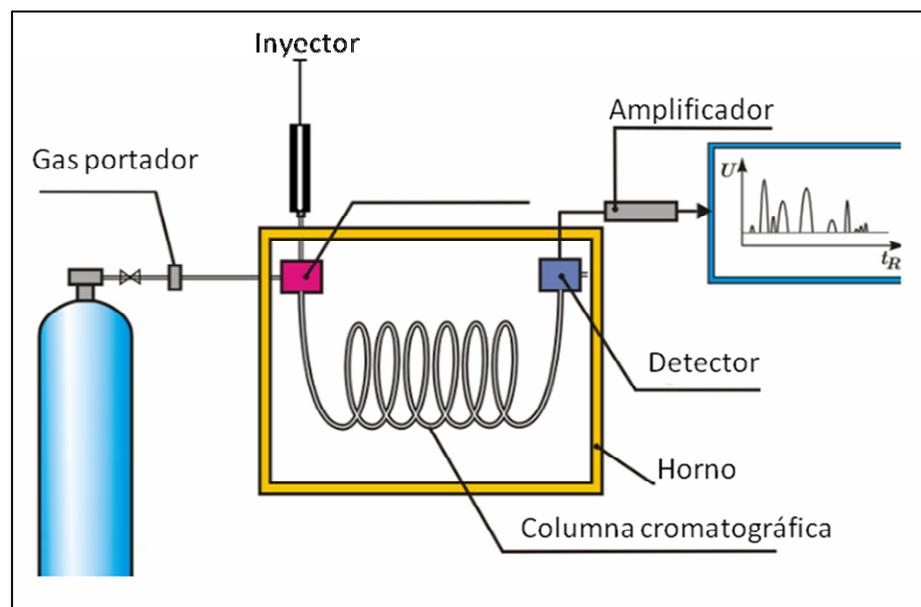


Figura 2. Esquema de un cromatógrafo de gases.

El cromatógrafo de gases está compuesto por las siguientes partes:

- Gas portador: este debe ser químicamente inerte (N₂, He) para no interactuar con el analito ni con la fase estacionaria. Su función es la de transportar los componentes a través de la columna.
- Inyector: es donde ingresa la muestra a analizar. Usualmente se emplean volúmenes muy pequeños (del orden de 1 a 10 microlitros de muestras líquidas o 100 a 250 microlitros de muestras gaseosas), empleando microjeringas que inyectan la muestra a través de un diafragma o “septum” de silicona en una cámara de vaporización instantánea situada en el ingreso de la columna. El inyector se encuentra a una temperatura de entre 150 y 300 °C, temperatura necesaria para poder vaporizar toda la muestra en forma instantánea. Al momento de la inyección, un gas carrier o de arrastre (inerte, para evitar interacciones entre la muestra y la fase estacionaria) “arrastra” a la muestra y la introduce en la columna cromatográfica, la cual debe ingresar en forma de pulso. Hay diferentes tipos de inyectores (Split / Split-less, On Column, etc.)
- Columna cromatográfica: es donde se produce la cromatografía propiamente dicha. Consiste en un conducto de un diámetro y largo definidos y que en su interior está presente un material inerte pero con la propiedad de poseer diferentes adsorciones para cada compuesto de acuerdo a la afinidad que presente con cada uno de ellos. Cuanto más afin a un compuesto sea, más adsorbido estará dicho compuesto y más tiempo estará el mismo dentro de la columna. Como contrapartida, el compuesto menos afin será retenido menos en la columna y saldrá de la columna en el menor tiempo. La afinidad por los compuestos es inversamente proporcional con la temperatura, por lo que uno de los factores más importantes de la cromatografía es la temperatura a la cual se encuentra la columna. De acuerdo al tipo de uso que se le de en la técnica empleada, existen diferentes tipos de columna (empacadas, capilares, rellenas, etc., existiendo en cada tipo diferentes propiedades entre ellos: polares, no polares, polaridad intermedia, específicas para isómeros, para compuestos livianos, etc.).
- Horno cromatográfico: es el espacio donde se encuentra la columna cromatográfica. Su función es proveer de un recinto que se encuentre a una temperatura homogénea y controlada. Permite lograr isoterms y rampas de temperaturas para lograr un correcto análisis cromatográfico, variando la afinidad de cada compuesto de la muestra con la fase estacionaria de la columna dado que la temperatura de la columna es la variable más importante para mejorar la eficiencia de la separación. El rango de temperatura de trabajo suele estar entre los 0 y 300 °C.
- Detector: permite la verificación de la elución de los compuestos de la columna y, además, su cuantificación. Su principio de funcionamiento está basado en el cambio de una propiedad del mismo al momento de eluir los compuestos. Un buen detector debe reunir ciertos requisitos: elevada sensibilidad, estabilidad y reproducibilidad, respuesta lineal, tiempo de respuesta cortos, y amplio intervalo de temperatura de trabajo. Existen diferentes tipos de detectores, siendo el más empleado el Detector de Ionización de Llama (FID) en el cual una llama de hidrógeno cambia su ionización a medida que un compuesto (de la muestra) pasa por ella generándose la combustión del mismo. Las muestras que salen de la columna pasan a través de la llama, la cual rompe las moléculas orgánicas y produce iones. Estos iones generan un cambio en la ionización de la llama, el cual es registrados y cuantificados por un electrodo, produciendo una señal eléctrica. Es posible cuantificar la muestra que eluyó dado que la señal obtenida es proporcional a la masa del compuesto que se detectó. Como se mencionó anteriormente, la señal emitida por el detector es proporcional a la masa del compuesto que eluye de la columna. Dependiendo de cada compuesto, existen diferentes factores de respuesta para cada uno de ellos, siendo algunos ejemplos de estos los expuestos en la Tabla 1.

Etanol	0,46	Benceno	1,12
Metanol	0,23	Tolueno	1,07
Acetona	0,49	Metano	0,97