FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Espectrometría

Objeto de Estudio Nº 2

LECTURA N° 4

FUENTES DE RUIDO EN LOS ANÁLISIS INSTRUMENTALES

Bibliografía:
SKOOG, D.A. James; Holler F. James; PRINCIPIOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL, 5° ed.; Ed. McGraw-Hill (1998), págs. 104-106.

Facultad de Ciencias Químicas

FUENTES DE RUIDO EN LOS ANÁLISIS INSTRUMENTALES

Dos tipos de ruido afectan a los análisis químicos: el ruido químico y el ruido instrumental.

Ruido químico

El ruido químico proviene de variables incontroladas que afectan a la química del sistema que sea analiza. Entre los distintos ejemplos pueden citarse variaciones no detectadas de temperatura o presión que afectan al equilibrio químico, fluctuaciones en la humedad relativa que cambian el contenido de humedad de las muestras, vibraciones que conducen a una estratificación de los sólidos pulverulentos, cambios de la intensidad de la luz que afectan a materiales fotosensibles y humos del laboratorio que interaccionan con las muestras o los reactivos. Los detalles sobre los efectos del ruido químico se exponen en los próximos capítulos que tratan sobre diversos métodos instrumentales específicos. En éste, sólo se tratará el ruido instrumental.

Ruido instrumental

El ruido se asocia a cada componente de una instrumento —o sea, a la fuente, al transductor de entrada, a todos los elementos que procesan la señal y al transductor de salida—. Además, el ruido de cada uno de estos componentes puede ser de distintos tipos y provenir de distintas fuentes. Por tanto, el ruido que finalmente se percibe es una mezcla compleja que, por lo general, no se puede caracterizar por completo. Se pueden reconocer ciertos tipos de ruido: (1) ruido térmico o Jonson, (2) ruido de disparo, (3) ruido de parpadeo o 1/*f* y (4) ruido ambiental. Resulta muy interesante realizar una consideración sobre las características de los cuatro tipos de ruido.

Ruido térmico, o ruido Jonson

El ruido térmico se debe a la agitación térmica de los electrones u otros trasportadores de cargas en las resistencias, condensadores, detectores de radiación, celdas electroquímicas y otros elementos resistivos de un instrumento. Esta agitación de las partículas cargadas se produce aleatoriamente y origina periódicamente heterogeneidades de carga, que a su vez crean variaciones de tensión que aparecen como ruido en la lectura. Hay que tener en cuenta que el ruido térmico existe incluso en ausencia de corriente de un elemento resistivo y sólo desaparece en el cero absoluto.

La magnitud del ruido térmico se deduce con facilidad a partir de consideraciones termodinámicas y se expresa como

$$\bar{v}_{rms} = \sqrt{4KTR\Delta f} \qquad (5\text{-}3)$$

donde $\bar{v}_{rms}$ es la raíz cuadrática media o valor eficaz del ruido de la tensión que está dentro de un ancho de banda de frecuencia de ΔfHz, k es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K), T es la temperatura en Kelvin y R es la resistencia del elemento resistivo en ohmios.

En el Apartado 3B-2 se comentó la relación entre tiempo de ascenso t_r y el ancho de banda Δf en un amplificador operacional. Estas variables también se utilizan para determinar la capacidad de los instrumentos completos para detectar y transmitir información. Recuérdese que

$$\Delta f = \frac{1}{3t_r} \qquad (5\text{-}4)$$

El tiempo de ascenso de un instrumento es el tiempo de respuesta, en segundos, a un cambio brusco de la señal de entrada y por lo general se toma como el tiempo necesario para que la señal de salida aumente de 10 al 90 por 100 de su valor final. Así pues, si el tiempo de ascenso es de 0,01 s, el ancho de banda es de 33 Hz.

La ecuación 5-3 sugiere que el ruido térmico puede disminuir al estrecharse el ancho de banda. Sin embargo, cuando el ancho de banda se estrecha, el instrumento tarda más en responder a una variación de la señal y se necesita más tiempo para realizar una medida fiable.

EJEMPLO

¿Qué efecto produce en el ruido térmico una disminución del tiempo de respuesta en un instrumento de 1 s a 1 μs?

Si se supone que el tiempo de respuesta es aproximadamente igual al tiempo de ascenso, resulta que el ancho de banda ha variado de 1 Hz a 10^6 Hz. Según la ecuación 5-3, dicho cambio supondrá un aumento del ruido de $(10^6/1)^{1/2}$, o sea, 1.000 veces.

Como se indicó en la Ecuación 5-3, el ruido térmico se puede reducir también disminuyendo la resistencia eléctrica de los circuitos instrumentales y la temperatura de los componentes de los instrumentos. A menudo, el ruido térmico de los detectores se reduce mediante refrigeración. Por ejemplo, la disminución de la temperatura de un detector desde la temperatura ambiente a 298 K a la temperatura del nitrógeno líquido a 77 K reducirá el ruido térmico a la mitad.

Es importante considerar que aunque el ruido térmico depende del ancho de banda de la frecuencia, es independiente de la propia frecuencia; por tanto, a veces se denomina *ruido blanco* por analogía con la luz blanca, la cual contiene todas las frecuencias visibles. También hay que destacar que en los elementos resistivos de los circuitos el ruido térmico es independiente del tamaño físico de la resistencia.

Ruido de disparo

El ruido de disparo se origina siempre que se produce un movimiento de electrones o de otras partículas cargadas a través de una unión, En un circuito electrónico característico, estas uniones se encuentran en las interfases *pn*; en las fotocélulas y tubos de vacío, la unión sería el espacio vacío entre el ánodo y el cátodo. Las corrientes en tales dispositivos implican una serie de procesos cuantizados; esto es, la transferencia de electrones individuales a través de la unión. Sin embargo, estos sucesos se producen al azar y la velocidad a la cual ocurren está sujeta, por tanto, a fluctuaciones estadísticas que se describen con la ecuación

$$i_{nms} = \sqrt{2Ie\Delta f} \qquad (5\text{-}5)$$

donde i_{nms} es la raíz cuadrática media o valor eficaz de las fluctuaciones de corriente relacionadas con al corriente continua promedio, I, *e* es la carga del electrón, 1,60 x 10^{-9} c y Δf vuelve a ser el ancho de banda de las frecuencias consideradas. Al igual que el ruido térmico, el ruido de disparo es un ruido blanco.

A partir de la Ecuación 5-5 se deduce que el ruido de disparo de una medida de corriente sólo puede minimizarse reduciendo el ancho de banda.

Ruido de parpadeo

El ruido de parpadeo se caracteriza por ser su valor inversamente proporcional a la frecuencia de la señal que se observa; en consecuencia, a veces, se le denomina ruido $1/f$ (uno dividido por f). Las causas del ruido de parpadeo no se comprenden bien; sin embargo siempre existe y su presencia se reconoce por su dependencia de la frecuencia. El ruido de parpadeo es significativo para frecuencias menores de 100 Hz. Una muestra del ruido de parpadeo es la deriva a largo plazo, observada en amplificadores de corriente continua, medidores y galvanómetros. El ruido de parpadeo puede reducirse bastante usando resistencias de filamento enrollado o resistencias de película metálica en vez de las de composición de carbón habituales.

Ruido ambiental

El ruido ambiental es una mezcla de distintos tipos de ruidos procedentes del entorno. En la Figura 5-3 se indican algunas fuentes características de ruido ambiental en un laboratorio universitario.

Gran parte del ruido ambiental se produce a causa de que cada conductor de un instrumento es una antena potencial capaz de captar radiación electromagnética y convertirla en una señal eléctrica. En el entorno existen numerosas fuentes de radicación electromagnética tales como líneas de alimentación de corriente alterna, emisoras de radio y de televisión, sistemas de encendido de los motores de gasolina, conmutadores

de arco eléctrico, escobillas de motores eléctricos, alumbrado y perturbaciones ionosféricas. Obsérvense que algunas de estas fuentes, como las líneas de alimentación y las estaciones de radio, originan ruidos con anchos de banda de frecuencia relativamente limitada.

También es destacable que el espectro del ruido mostrado en la Figura 5-3 presenta una amplia región continua de ruido de baja frecuencia. Este ruido tiene las propiedades del ruido de parpadeo pero su origen es desconocido. Superpuestos al ruido de parpadeo existen picos de ruido que corresponden a la fluctuación de temperatura anual y diaria y a otros fenómenos periódicos relacionados con el mantenimiento del edificio de un laboratorio.

Por último, en la Figura 5-3 se indican dos regiones de frecuencia silenciosas en las cuales el ruido ambiental es bajo: la región que se extiende desde aproximadamente 3 Hz hasta casi 60 Hz y la región que va desde 1 kHz hasta aproximadamente 500 kHz, o sea, la frecuencia a la que se emiten las señales de radio en AM. En estas regiones, a menudo, las señales se convierten en frecuencias para reducir el ruido durante el procesamiento de la señal.