

# Construcción del MIMCon

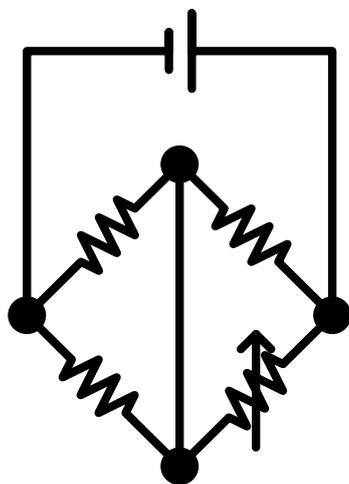
## Minimal Instrumentation MicroConductimeter

La conductimetría es la más sencilla de las técnicas electroanalíticas, la cual nos da una medida de la concentración total de los iones presentes. Esto la hace una técnica no específica, por lo cual cuando se tienen muestras con más de un electrolito es conveniente usar otra técnica para completar el análisis. En 1923, Kolthoff introdujo la conductimetría como auxiliar analítico, teniendo mucha popularidad como técnica de titulación volumétrica a manera de sustitución de un indicador ácido-base. Hoy en día desplazada por los métodos selectivos, pero siempre es una herramienta útil para determinar la concentración, e.g. la determinación de la pureza del agua <sup>[1]</sup>.

En vista de la simplicidad de la técnica, además de que nos permite determinar puntos de equivalencia de manera más precisa que un indicador, ya sea para ácido-base, complejometría o precipitación, se consiguió diseñar un microconductímetro de mínima instrumentación (MIMCon). El cual será accesible para cualquier laboratorio a un bajo costo y con material al alcance para cualquiera.

### I. Fundamento teórico

El puente de Wheatstone es un circuito eléctrico, comúnmente usado para determinar una resistencia desconocida **Figura 1** <sup>[2]</sup>. Es un circuito de cuatro nodos (cada nodo unido con otros tres) en cinco mallas; entre ellos hay cuatro resistencias distribuidas de tal manera que entre cada par de nodos hay una resistencia, de esta manera dos pares de nodos quedan sin resistencia, entre un par de estos esta la fuente de fuerza electromotriz (FEM).



**Figura 1.** Circuito eléctrico del puente de Wheatstone, donde los nodos se nombran con las letras A, B, C y D, mientras que las resistencias se representan como  $R_i$ .

El circuito cuenta con cuatro resistencias, dos de ellas son constantes, una variable y la desconocida. Estas resistencias se pueden relacionar entre si de acuerdo a lo siguiente. De la fuente de FEM se desprenden de brazos (ABC y ADC), a la vez unidos por BD; Obedeciendo a la primera ley de Kirchhoff la corriente entre AC es igual a la suma de las corrientes de ABC y ADC. La corriente que pasa por cada brazo esta relacionada con las resistencias en cada brazo, entonces la corriente depende directamente de la resistencia variable ya que las demás resistencias son constantes.

Si se juega con al resistencia variable habrá un punto tal que la corriente entre los dos brazos  $I_{BD}$  sea cero, y por tal también el potencial eléctrico entre ellos. Cuando esta condición se cumple se dice que el puente esta en equilibrio, los potenciales de en B y D serán los mismos. Entonces los potenciales eléctricos que salen o entran a un nodo serán iguales para cada rama **Ecuación 1**. Estas ecuaciones se pueden expresar en función de la resistencia y la corriente de acuerdo a la ley de Ohm **Ecuación 2**. Dividiendo este último par de ecuaciones podemos obtener una relación entre las resistencias **Ecuación 3**.

**Ecuación 1.**  $E_{AB} = E_{AD}, E_{BC} = E_{DC}$

**Ecuación 2.**  $I_{ABC} R_1 = I_{ABC} R_C, I_{ABC} R_2 = I_{ABC} R_V$

**Ecuación 3.**  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_C}{R_V} \rightarrow R_C = \frac{R_1}{R_2} R_V$

Con esta relación podemos asociar un valor a la resistencia desconocida  $R_C$ . En química analítica se usa este tipo de circuitos para determinar puntos de equivalencia en la valoración de algunos analitos en reacciones ácido-base, de precipitación y de complejos [3], esto midiendo la resistencia de una disolución. La resistencia  $R$  [ $\Omega$ ] se define como la resistividad eléctrica  $\rho$  [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ] por la constante de celda  $k_c$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] **Ecuación 4**. A su vez, la resistividad eléctrica es el inverso de la conductividad específica  $\kappa$  [ $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ;  $\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ], al igual que la resistencia es el inverso de la conductancia  $G$  [ $\Omega^{-1}$ ;  $\text{S}$ ] **Ecuación 5**.

**Ecuación 4.**  $R = k_c \rho$

**Ecuación 5.**  $\rho = \frac{1}{\kappa} \rightarrow R = \frac{1}{G}$

La conductividad específica dividida entre la concentración molar  $C_0$  [ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ] se define como la conductividad molar  $\Lambda_m$  [ $\text{S} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ] **Ecuación 6**, como las unidades no son muy prácticas se cambian las unidades de la concentración  $C$  [ $\text{mol} \cdot \text{cm}^{-3}$ ] resultando unidades más fáciles de manejar para la conductividad  $\Lambda$  [ $\text{S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ] **Ecuación 7**.

**Ecuación 6.**  $\Lambda_m = \frac{\kappa}{C_0}$

**Ecuación 7.**  $\Lambda = \frac{\kappa}{C}, C = \frac{C_0}{10^3}$

Rearreglando las ecuaciones anteriores, podemos obtener una relación entre la resistencia y la concentración de una disolución **Ecuación 8**. Pero la conductividad sigue siendo una variable que a su vez depende de la concentración de acuerdo al modelo de Kohlrausch **Ecuación 9**. El cual describe la conductividad como una línea recta cuya ordenada al origen es la conductividad molar límite  $\Lambda_0$  [ $\text{S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$ ], y cual pendiente es la constante de Kohlrausch  $\kappa$  [ $\text{S} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})^{-1/2}$ ].

## Construcción del MIMCon (Minimal Instrumentation MicroConductimeter)

Elí Sánchez González

$$\text{Ecuación 8. } G = \frac{1}{R} = \frac{\Lambda_g C_0}{k_c g 10^3} \quad \text{Ecuación 9. } \Lambda = \Lambda_0 - \kappa_g \sqrt{C_0}$$

La conductividad molar límite de un compuesto se define por la suma de la conductividad molar iónica límite  $\lambda_{oi}$  [ $S \cdot cm^2 \cdot mol^{-1}$ ] de cada especie multiplicada por el coeficiente estequiométrico de la misma  $n_i$  Ecuación 10. Con estas últimas ecuaciones podemos determinar la constante de celda para cualquier celda, siempre y cuando se conozcan las demás variables Ecuación 11.

$$\text{Ecuación 10. } \Lambda_{M_m X_x}^0 = m g \lambda_{M^{x+}}^0 + x g \lambda_{X^{m-}}^0$$

$$\text{Ecuación 11. } k_c = \frac{R_g C_0}{10^3 g} (\Lambda^0 - \kappa_g \sqrt{C_0})$$

## II. Diseño y construcción del MIMCon

Para la construcción del MIMCon se siguió el modelo del puente de Wheatstone, tan sólo se le hicieron unas pequeñas modificaciones para facilitar la operación. Se trató de usar material fácil de obtener [Tabla 1](#), para facilitar así la reproducción del aparato a un bajo costo.

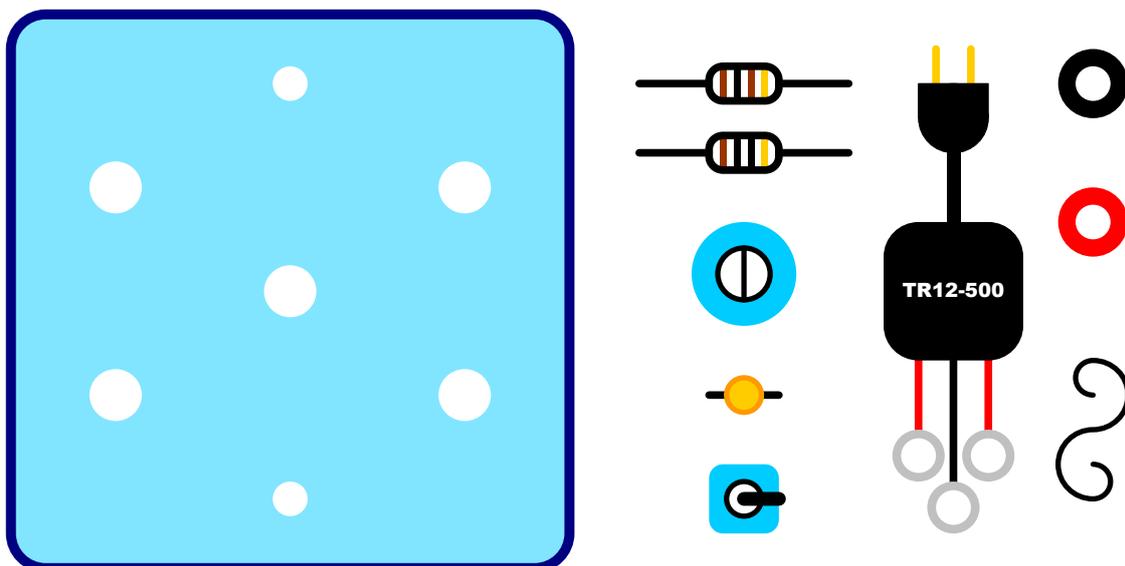
Material	Equipo
Resistencia variable (100 – 10000 $\Omega$ )	Cautín, soldadura y cera para soldar
Resistencias fijas (100 y 10 $\Omega$ )	Pistola de silicón
Interruptor de corriente	Multímetro
Transformador (12 V <sub>ca</sub> , 500 mA)	Pinzas de corte
Soporte de plástico (estuche para mini CD)	Mini-taladro
LED blanco (3 mm)	
Clavija para toma corriente	
Bananas, jacks, caimanes y cables	

**Tabla 1.** Material y equipo básico para la construcción del MIMCon.

Una vez que se tiene lo necesario se empieza por el soporte para el equipo (estuche para mini CD), sobre el cual se marcan los vértices y el centro de un hexágono ( $l = 30$  mm). En una vértice se hace un orificio para el LED, en el vértice opuesto se hace un orificio para el interruptor de corriente, en los vértices restantes se hacen los orificios para los jack's y en el centro se hace un orificio para la resistencia variable [Figura 2](#).

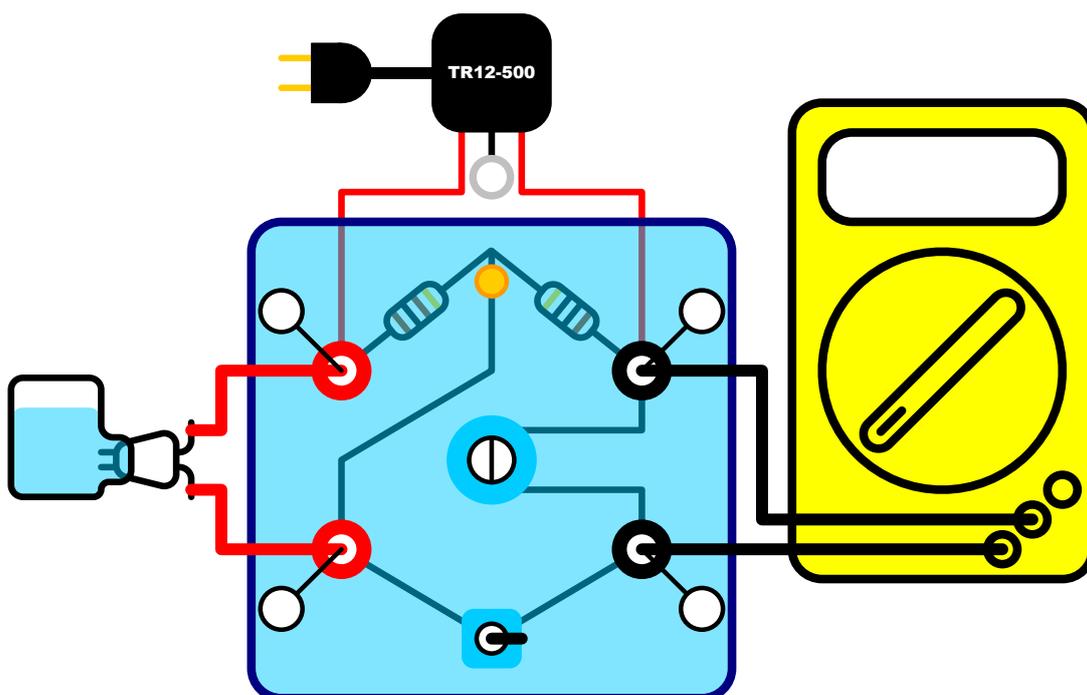
## Construcción del MIMCon (Minimal Instrumentation MicroConductimeter)

Elí Sánchez González



**Figura 2.** Soporte de plástico y material para la construcción del MIMCon, 1, resistencia 100  $\Omega$ ; 2, resistencia 10  $\Omega$ ; 3, resistencia variable 100 – 10000  $\Omega$ ; 4, LED; 5, Interruptor de corriente; 6, transformador de corriente; 7, jacks; 8, cable para las conexiones.

Se unen las dos resistencias fijas a uno de los extremos del LED, a su vez la resistencia de 100  $\Omega$  se une al jack A y la de 10  $\Omega$  al jack B. El extremo libre del LED se une al jack C junto con un extremo del interruptor de corriente, el otro extremo se conecta al jack D. La resistencia variable se conecta a los jacks B y D. El transformador de corriente se conecta a los jacks A y B **Figura 3**; en caso de querer alimentar el equipo con 12 V se conectan los cables rojos, de otra forma se alimenta con 6 V conectando un cable rojo y el negro.



**Figura 3.** MIMCon terminado, en los jacks A y C se conecta la celda conductimétrica, y en los jacks B y D el multímetro con el cual se mide el valor de la resistencia variable.

## Construcción del MIMCon (Minimal Instrumentation MicroConductimeter)

Elí Sánchez González

En el diseño del puente modificado se incluye un interruptor, esto simplemente se hace con el propósito de facilitar el medir el valor de la resistencia variable. Ya que si se conectan los caimanes directamente con el circuito cerrado (C, celda), el valor obtenido tendrá como contribución la resistencia variable y la resistencia del circuito completo; al medir con el circuito abierto (M, multímetro) se garantiza que el valor medido corresponde solamente a la resistencia variable.

### III. Operación del MIMCon

Para la operación del MIMCon se debe conectar una celda conductimétrica a los jacks A y C, se conecta un multímetro a los jacks B y D. A continuación se enumeran los pasos para la operación del equipo:

1. Se conecta la celda conductimétrica y el multímetro, encendido y listo para medir resistencia.
2. Se conecta el transformador a un tomacorriente y se coloca el interruptor de corriente en la posición C.
3. Se aumenta el valor de la resistencia variable hasta que se encienda el LED, entonces se regresa lentamente la perilla al punto donde se apague el LED.
4. Se coloca el interruptor de corriente en la posición M y se registra el valor de resistencia que se lea en el multímetro.
5. Para realizar otra medición, se coloca el interruptor de corriente en la posición C, la resistencia variable se lleva a un valor más bajo (opcional) y se repiten los pasos 3 y 4.

### IV. Referencias

- [1] Vassos, Basil H. y Ewing, Galen W. Electroquímica Analítica. EDITORIAL LIMUSA, México DF (1998), p. 225.
- [2] Strobel, Howard A. Instrumentación química, estudio sistemático del análisis instrumental. EDITORIAL LIMUSA, México DF (1979), pp. 464 – 465.
- [3] Baeza, Alejandro. Química Analítica Instrumental I, Documento de apoyo I, Conductimetría, disponible en <http://depa.fquim.unam.mx/amyd>.
- [4] Atkins, P W. Fisicoquímica. Addison-Wesley Iberoamericana, México DF (1987), pp. 780 – 791.