

Medidor de pH de bajo costo

Álvaro García Torres*

Resumen

En este trabajo** se presenta la construcción de un medidor económico y confiable de pH, que usa un electrodo combinado. En su construcción se utilizan elementos electrónicos baratos. Todos los componentes se consiguen fácilmente en el país y el costo de los mismos es inferior a los \$150 000. El costo anterior no incluye el electrodo combinado para pH.

Introducción

Medir el pH es probablemente la acción más común en un laboratorio químico y es la forma rápida de conocer el grado de acidez de una disolución acuosa y, por lo tanto, la actividad o concentración de los iones hidrógeno presentes en dicha disolución, así como las constantes de equilibrio que rigen el comportamiento de un sistema ácido-base.

A partir de 1934, la medición electrométrica [1,2], ha sido la forma más común de medir el pH, por su rapidez y precisión. En la medición del pH se considera un electrodo de membrana de vidrio [3,4] como electrodo indicador, cuya respuesta a la actividad de los hidrogeniones es lineal en el intervalo de 0 a 14 de pH [5,8]. Los electrodos de membrana presentan alta resistencia eléctrica, cuyo valor varía generalmente entre los 100 y 500 MΩ, de allí que la impedancia de entrada del elemento amplificador del instrumento de medición (electrómetro) deberá de ser del orden indicado y de preferencia mayor [8,9]; la celda de medición se complementa con el electrodo de referencia [6,8], que por lo general es de calomel, o bien de plata-cloruro de plata.

El instrumento de medición es, por lo tanto, un voltímetro con muy alta impedancia de entrada, [5, 8, 11] cuya escala de medición está graduada en unidades de pH en vez de voltios —o en ambas— y que tiene controles que corrigen los factores que afectan la

medición del pH, como son: la temperatura, el potencial de unión en la interfase del electrodo y la disolución a medir, el envejecimiento de la membrana de vidrio del electrodo y la asimetría de la medición [12].

Descripción del circuito

En la figura 1 se observa un diagrama a cuadros de un medidor de pH. Allí se pueden observar los electrodos (1) que forman, con la disolución a medir, una celda electroquímica, cuya diferencia de potencial se mide con un voltímetro de alta impedancia; el electrómetro amplificador (2) es el elemento del voltímetro medidor de pH que acopla la alta resistencia del electrodo indicador con el amplificador del medidor y, por lo general, tiene un factor de amplificación unitario; el amplificador del voltímetro medidor de pH (3), es el componente que multiplica la señal de salida del electrómetro, de tal forma que la diferencia de potencial medida por éste proporcione un valor que represente unidades de pH y que contenga los controles necesarios para compensar todos y cada uno de los factores que afectan la medición;

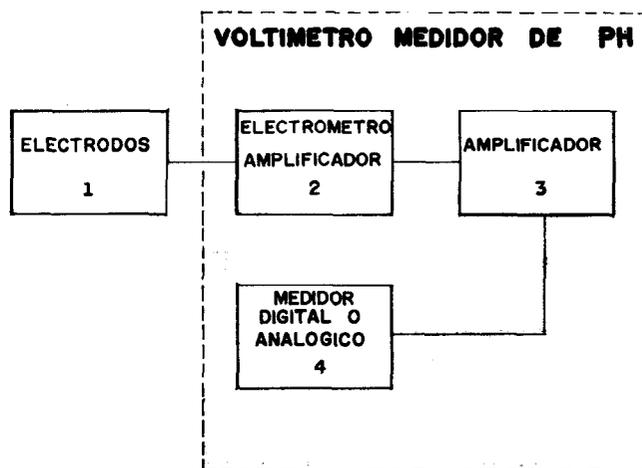


Figura 1. Diagrama a cuadros de un medidor de pH.

* Instituto de Investigaciones Científicas. Universidad de Guanajuato, L. de Retana No. 5, 36000 Guanajuato, Gto.

** Trabajo presentado en el VII CONGRESO NACIONAL DE EDUCACIÓN QUÍMICA. (1987).

Recibido: 21 de agosto de 1990; Aceptado: 20 de noviembre de 1990.

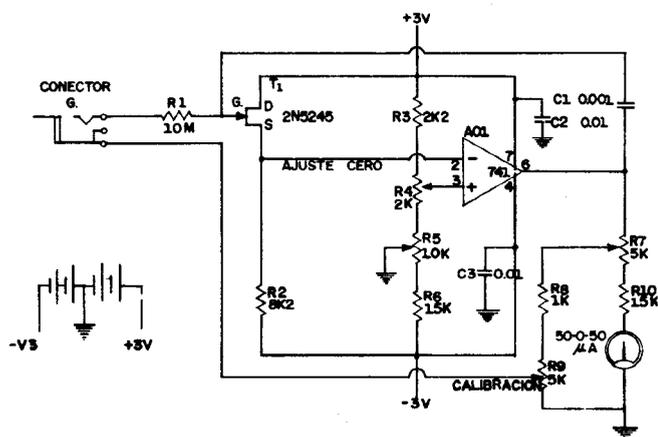


Figura 2. Diagrama esquemático del medidor de pH.

el medidor —analógico o digital— (4) es el dispositivo que muestra en la forma elegida el valor del pH medido.

El circuito usado es similar a uno descrito anteriormente [12], en el cual se usan elementos electrónicos baratos. Para acoplar la alta resistencia de la membrana de vidrio del electrodo indicador de pH se usa un transistor de efecto de campo (FET), y como amplificador se usa un amplificador operacional, LM 741. La medición de pH se indica en un microamperímetro de 0 a 100 μA , con cero al centro (de marca FIMESA), cuya escala se gradúa en unidades de pH, de 0 a 14, con subdivisiones de 0.2 unidades. El instrumento trabaja

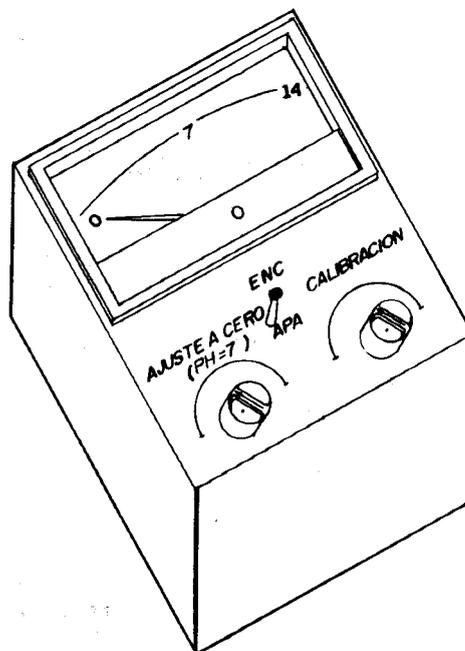


Figura 4. Medidor de pH de bajo costo en caja de aluminio.

con cuatro pilas tipo "AA" de 1.5 voltios cada una (figura 2).

Construcción del medidor

El medidor de pH se construye al colocar los componentes electrónicos en una placa para circuito impreso de 9x6.5 cm, (figura 3a) la cual ha sido diseñada para montarse directamente en los tornillos del microamperímetro. La distribución de los componentes se observa

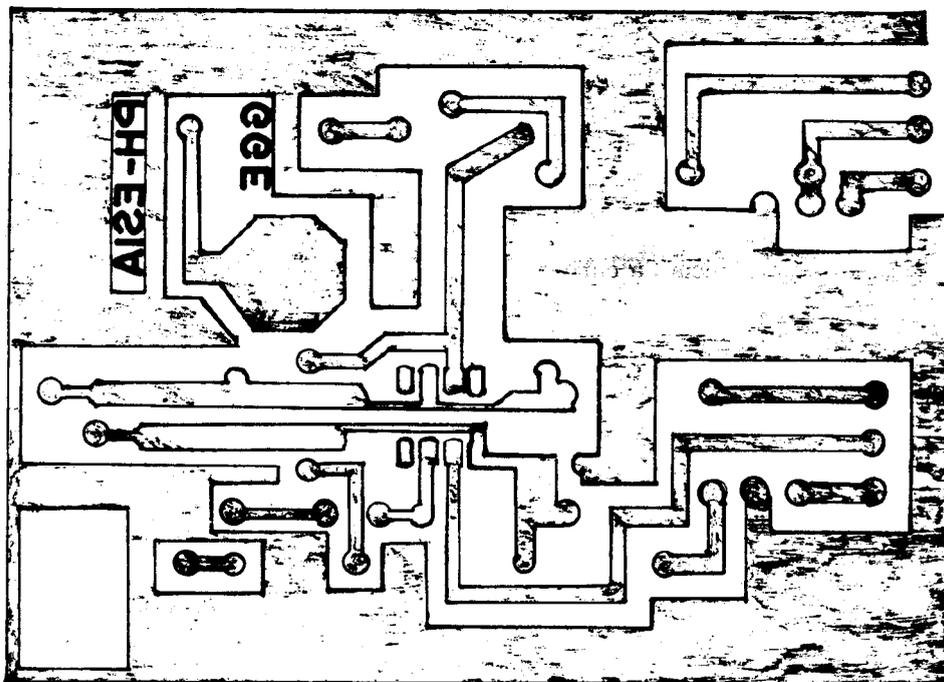


Figura 3a. Tablilla del circuito impreso para el medidor de pH.

en la figura 3b.

El microamperímetro y la tablilla electrónica se montan en una caja de aluminio del No. 18 (de 13 cm de largo por 11 cm de ancho y 5 cm de alto, figura 4). En la parte superior de la caja se encuentra el microamperímetro medidor y en la parte baja se encuentran el interruptor de encendido (al centro) y, en seguida, los controles de balance y calibración del medidor. Una tapa de aluminio en forma de "U", completa la caja del medidor.

Calibración del medidor

Terminada la construcción del instrumento e instaladas las pilas de 1.5 voltios en un portapilas (paquete de cuatro pilas), con un voltímetro digital (SANWA LD-530 μ F) se comprueba que el voltaje a la salida del portapilas sea de ± 3 voltios (por lo general ± 3.20 voltios con pilas nuevas). En seguida se lleva a cabo el balance electrónico del instrumento de la siguiente manera: sin introducir el conector macho del electrodo combinado en el conector "G" correspondiente, colóquense los potenciómetros de balance (R4, potenciómetro de $2k\Omega$), y de calibración (R9, potenciómetro de $5k\Omega$), en la parte media de su recorrido. Energícese el instrumento al accionar el interruptor de encendido y gírese el preset de $10k\Omega$ (R5) a un lado u otro, para llevar la aguja del microamperímetro al centro de su escala (pH = 7). Una vez balanceado el instrumento al punto de isopotencial (pH = 7), se introduce el conector del electrodo combinado (Corning 476115-80), en el conector de entrada "G" del medidor y, a su vez, el electrodo se sumerge en un buffer de pH = 2 (Sigma No. 3902), y se gira el control de calibración hasta que la aguja

llegue al 2 de la escala del medidor. Después de lavar el electrodo combinado de pH y secarlo con papel absorbente, se sumerge en el buffer de pH = 11 (Merck 9880); ahora la aguja del medidor deberá desplazarse a un valor muy próximo a 11. Con el control R7 (montado en la tablilla), se aproxima la aguja del medidor a 11. Ahora el electrodo se sumerge nuevamente en el buffer de pH = 2 y de nuevo se aproxima al 2 en la escala del medidor, con el control de calibración.

Lo anterior se repite hasta que en el proceso de sumergir el electrodo en el buffer de 2 y 11 de pH se obtenga la misma lectura al probar con diferentes posiciones de R7 y del control de calibración. Cuando al sumergir el electrodo en el buffer de pH = 2 la aguja del microamperímetro indique 2 y al sumergirlo en el buffer de 11 indique 11 de pH, el instrumento se encuentra calibrado y listo para hacer la medición de cualquier disolución ácida o alcalina. Con una poca de experiencia, el proceso anterior podrá hacerse en menos de 30 minutos, y sólo se hace una vez o cuando se desee verificar la calibración. Hay que hacer notar que la exactitud de las mediciones del pH-metro calibrado dependen de la calibración del instrumento, de los electrodos usados y de la exactitud de los buffers empleados, ya que la medición del pH es una medición relativa, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$pH_m = pH_s - \frac{(E_m - E_s) F}{RT \ln 10} \quad (12)$$

Después de la calibración, deberán de mantenerse fijas las posiciones de los potenciómetros de balance y calibración.

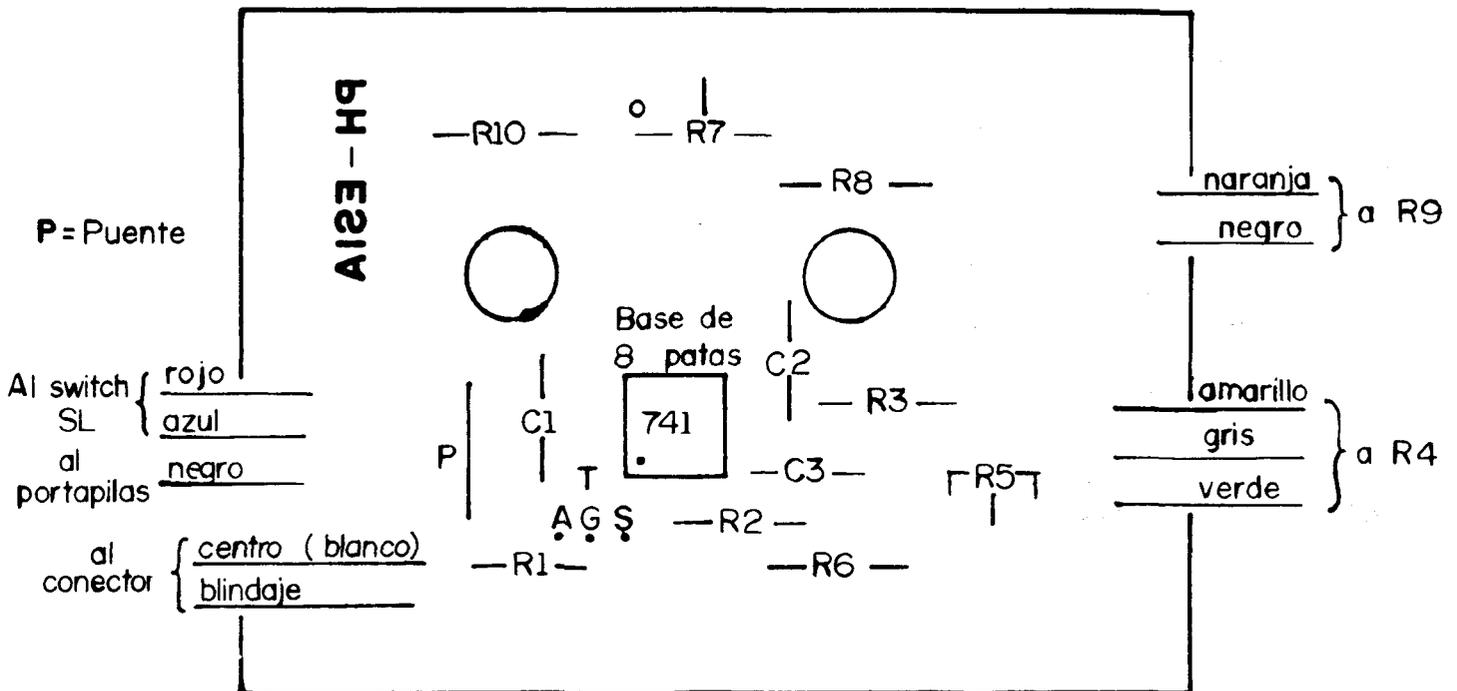


Figura 3b. Distribución de los componentes en la tablilla del circuito impreso del pH-metro.

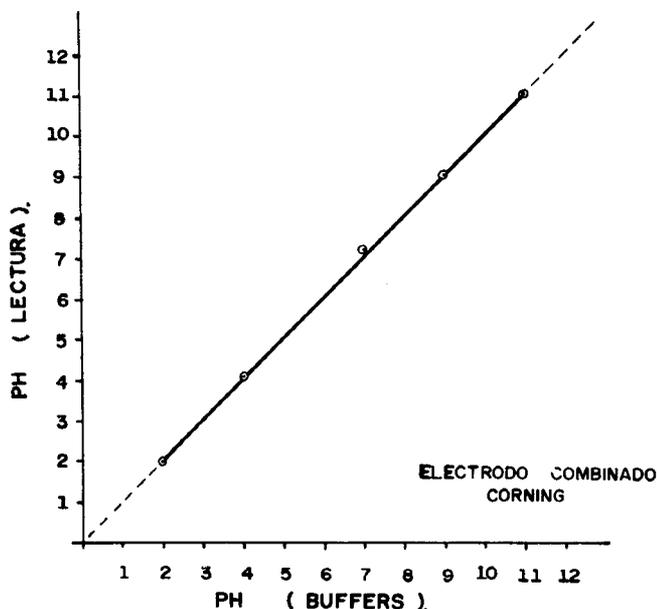


Figura 5. Respuesta del pH-metro calibrado con soluciones buffer de diferente valor de pH.

Resultados y discusión

En la figura 5 se muestra la respuesta del instrumento calibrado al usar varias soluciones buffer de diferentes valores de pH, y se encuentra un valor de regresión de 0.999156, para la lectura del $pH_i = pH_m + 0.13\%$ de error. En esta figura se observa una linealidad aceptable de la respuesta del instrumento; solamente se observa una ligera diferencia al usar el buffer de $pH = 7$, que es el punto isotencial. Dicha desviación puede deberse a lo viejo del electrodo de combinación empleado, al buffer utilizado, o bien, a la falta de capacidad del instrumento para corregir la asimetría a través del punto isotencial. En la figura 6, se muestra la titulación de Li_2CO_3 (Merck 5680); en ella se observa la primera meseta correspondiente al paso de carbonato a bicarbonato:



y la segunda meseta corresponde a la titulación del bicarbonato formado anteriormente:



Al titular 10 mL de HCl 0.11N, con NaOH 0.1N, se obtiene la gráfica de la figura 7, en la que se observa perfectamente el proceso de la neutralización. El volumen equivalente encontrado fue de 11.2 ± 0.09 al 95% de confiabilidad. La calibración de la figura 5 y las titulaciones mostradas en las figuras 6 y 7 fueron efectuadas por triplicado. Los resultados obtenidos con la primera y segunda derivada de las titulaciones anteriores fueron muy similares a los mostrados en las figuras. El valor del título obtenido para el HCl en la titulación

de la figura 6 fue de 0.115 ± 0.006 N. Los valores marcados en las figuras fueron los obtenidos por procedimientos gráficos; los valores estadísticos reportados fueron verificados por computadora.

Estas titulaciones fueron efectuadas en el año de 1987, y para fines de esta publicación, se realizó la verificación por quintuplicado del título de HCl 0.1N preparado por dilución de otro más concentrado, al usar alrededor de 230 mg de Na_2CO_3 . La determinación con el mismo electrodo combinado viejo dio un valor de $N = 0.102 \pm 0.002$ al 90% de confiabilidad.

Este prototipo ha sido construido en dos talleres, uno efectuado en el Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Guanajuato con motivo de un congreso de químicos analíticos, y el otro, desarrollado en la ESIQUITE, del IPN. En cada ocasión se construyeron 15 prototipos; cada uno de los participantes construyó su propio instrumento.

Conclusiones

- La curva de calibración del instrumento resultó lineal, no obstante que se utilizó un electrodo combinado viejo.
- La respuesta del instrumento en las titulaciones fue buena.
- La construcción del instrumento no presenta problemas especiales.
- El usar un instrumento de bajo costo no significa deterioro o deficiencia en la medición, sino ahorro en el desarrollo y fabricación del instrumento.

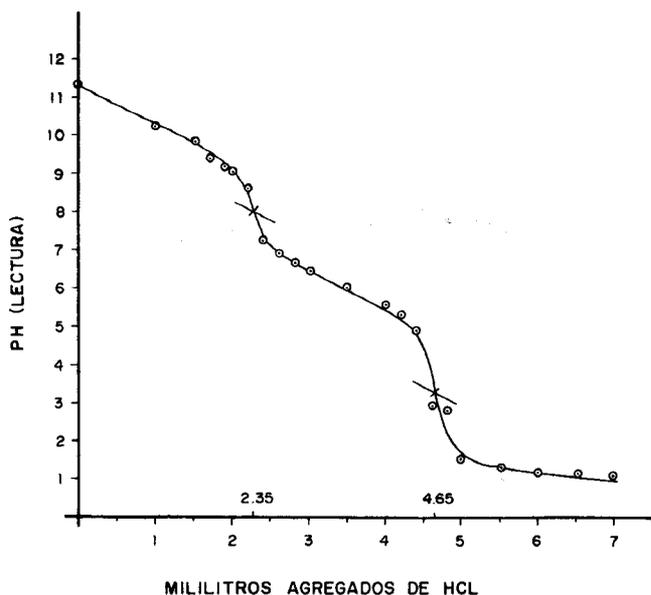


Figura 6. Titulación de ácido clorhídrico.

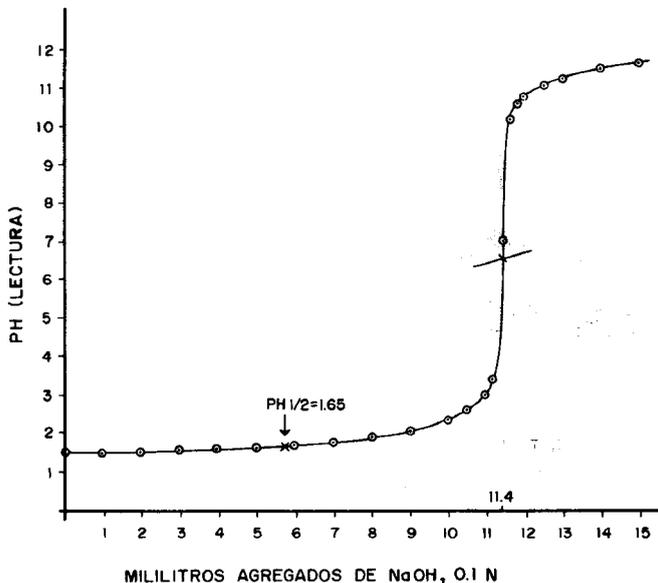


Figura 7. Titulación de HCl 0.11 N con NaOH 0.1 N.

Agradecimiento

Se agradece la colaboración del doctor Roberto Contreras Z. y del maestro en ciencias Juan Carlos Baltazar C. en el tratamiento estadístico de los datos por computadora, así como a la señorita Cecilia L., por su asistencia secretarial.

Bibliografía

1. *Am Lab.* 19(4), 130 (1987).
2. D.S. Tarbell and A.T. Tarbell, *J. Chem. Educ.* 57 (2), 133 (1980).
3. M. Dole, *J. Chem. Educ.* 57 (2), 134 (1980).
4. Jui H. Wang and E. Copeland, *Proc. Nat. Acad. Sci, USA*, 70 (7), 1909 (1973).
5. D. Kold, *J. Chem. Educ.* 56 (1) 49 (1979).
6. D.G. Peters, J.M. Hayes and G.M. Hieftje. "A Brief Instruction to Modern Chemical Analysis", W. B. Saunders Co. 1976, p. 247.
7. D.A. Skoog, D.W. West. "Principles of Instrumental Analysis", Holt, Rinehart and Winston, Inc. 1971, p. 449.
8. R.L. Pecksok, L.D. Shields, I.G. Mc Williams "Modern Methods of Chemical Analysis", 2d. John Wiley & Sons. Inc. 1968, p. 377.
9. N. Holemer and K. Lindstrom, *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 19(2), 162 (1972).
10. R.D. Edstrom, *J. Chem. Educ.*, 56 (4), A169 (1979).
11. M.S. Cacesi, *J. Chem. Educ.* 61, 935 (1984).
12. W. Lund, *J. Chem. Educ.* 56 (2), 129 (1979).
13. D. Sievers. *J. Chem. Educ.* 58 (3), 281 (1981).

Anexo 1. Lista de partes necesarias para la construcción del medidor de pH de bajo costo.

Resistores (a 1/4 de watt; valores en ohms)

- R1 = 10M
- R2 = 8k
- R3 = 2k
- R6 = R10 = 15k
- R8 = 1k

Resistores variables

- R4 = 2kΩ potenciómetro lineal (ajuste a cero, pH=7)
- R9 = 5kΩ potenciómetro lineal (control de calibración)
- R7 = 5kΩ trimpot, de 15 vueltas

Capacitores (valores en microfaradios)

- C1 = 0.001
- C2 = C3 = 0.01

Otros

- T1 = 2N5245 transistor de efecto de campo (FET)
- AO1 = LM741 amplificador operacional

Microamperímetro

- Microamperímetro 50-0-50 μA (0-14 unidades de pH), marca FIMESA, modelo 102M.

NOTA: la casa FIMESA de la ciudad de México lo fabrica con escala de 0-14 unidades de pH, elaborada por el autor de este trabajo.

Varios

- G = conector mediano para audífonos normalmente cerrado.
- 4 pilas de 1.5 voltios cada una, tipo "AA".
- Portapilas para cuatro pilas.
- Placa de circuito impreso.
- Caja de aluminio.
- Interruptor para apagado y encendido del medidor de dos polos y dos tiros (2P2T).
- Cable del No. 20, para uso electrónico
- Soldadura delgada para circuito impreso.