



Application Note AN-EC-034

Electrodos selectivos de iones basados en tecnología serigrafiada

Fundamentos y consejos para el uso de sensores potenciométricos de contacto sólido selectivos de iones basados en electrodos de serigrafía

La potenciometría ha tenido un largo desarrollo histórico, desde los estudios de Galvani y Volta a finales del siglo XVIII hasta la primera valoración potenciométrica desarrollada en 1893 por Robert Behrend. Sin embargo, no fue hasta la década de 1960 cuando nació la llamada potenciometría moderna. En apenas una década, se desarrollaron los primeros electrodos de membrana basados en polímeros de disolventes o intercambiadores de iones líquidos, basándose en los trabajos de Ross [1] y Bloch [2], respectivamente. Hoy en día, la potenciometría es

una técnica analítica estándar para detectar iones relevantes que se emplean comúnmente en los laboratorios clínicos.

El uso de membranas poliméricas solventes favorece el desarrollo de matrices de sensores capaces de detectar una gran variedad de iones en comparación con las membranas de vidrio. Aprovechando esto, la tecnología serigrafiada ofrece miniaturización y portabilidad, dos características esenciales en el análisis «point-of-care».

MEASUREMENT PRINCIPLE

La potenciometría es un método electroquímico que mide el potencial eléctrico, o voltaje, de una celda electroquímica compuesta por dos electrodos: un electrodo de trabajo y uno de referencia. El potencial del electrodo de referencia permanece constante mientras que el potencial en el electrodo de trabajo varía en proporción a la concentración de analito en la muestra. El potencial relativo entre los dos electrodos se mide bajo la condición de corriente cero, por lo que la técnica electroanalítica empleada con estos sensores se conoce como potenciometría de circuito abierto (OCP).

Los electrodos selectivos de iones (ISE) clásicos desarrollados a principios del siglo XX estaban hechos de una membrana (como fase de detección) en contacto con una solución interna para formar una interfaz de contacto líquido. No fue hasta 1971 que Hirata y Dato propusieron el primer ISE sin solución interna [3], seguido de Cattrall y Freiser [4] el año siguiente. Estos nuevos sensores se basan en una capa de contacto sólido entre la membrana y el sustrato conductor. (Figura 1), que Cadogan et al. [5] en 1992 denominada «capa transductora de iones a electrones».

El mecanismo de respuesta completo se ha descrito en profundidad en otras ocasiones [6], pero la señal analítica es la misma en ambos tipos de ISE (es decir, contacto líquido o sólido): la suma de los potenciales interfaciales de fase. En términos prácticos,

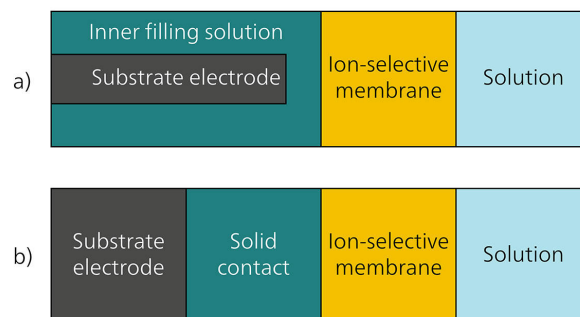


Figure 1. Gráfico ilustrado de un ISE con a) una interfaz de contacto líquido y b) una interfaz de contacto sólido. Ambas versiones muestran la configuración más común empleada al desarrollar electrodos selectivos de iones.

dependiendo del tipo de ion medido, la señal analítica sigue la ecuación de Nernst, que simplificada a 25 °C y aplicando un logaritmo común da como resultado la siguiente ecuación:

$$E_{meas} = K + \frac{0.05916}{z_A} \log(a_A)$$

Equation 1.

dónde K es una constante, z_A es la carga del ion analito A y puede ser positivo (catión) o negativo (anión), y a_A es la actividad del ion en la solución. Este

Figura 2 muestra una señal OCP típica donde $m_{medidas}$ es la meseta que se alcanza después de varios segundos cuando el ISE alcanza el equilibrio. Este potencial permanece constante y su valor es linealmente proporcional al logaritmo común de la concentración del ion analito en **Ecuación 1** (es decir, $\log[a_A]$).

Aunque la ecuación de Nernst no tiene límites y se correlaciona bien con la parte lineal del gráfico de calibración (**Figura 2b**), los sensores reales tienen dos límites prácticos. Los electrodos alcanzan su límite inferior a una concentración baja de analito y dejan de responder ya que no se observan cambios de potencial. El límite superior se puede alcanzar cuando los electrodos se vuelven insensibles a las altas actividades iónicas, lo que da como resultado una meseta.

Para calcular ambos límites, la IUPAC recomienda que el límite inferior (definido como el límite de detección) y el límite superior sean los puntos de intersección del segmento lineal de rango medio extrapolado y la respuesta de actividad límite inferior o superior, respectivamente [7]. Considerando que el signo de la pendiente puede cambiar dependiendo del tipo de ion medido, **Figura 3** muestra ambos tipos de curvas de calibración experimental que normalmente se observan con electrodos selectivos catiónicos o aniónicos y sus límites correspondientes.

potencial medido ($m_{medidas}$) es la señal analítica que se puede observar al medir con ISE en OCP, donde se monitorea el potencial a lo largo del tiempo.

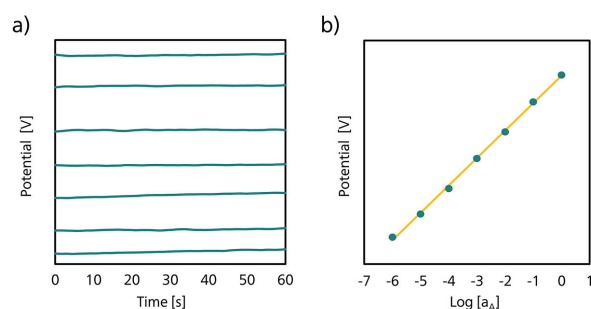


Figure 2. a) Datos experimentales observados en OCP y b) una gráfica de calibración obtenida al representar el potencial medido vs el logaritmo de la actividad del ion analito.

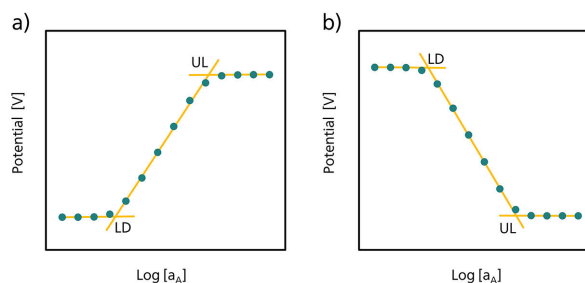


Figure 3. Gráficos de calibración completos obtenidos con a) cationes y b) aniones junto con el respectivo límite inferior (denotado como límite de detección, LD) y el límite superior (UL) marcados en cada gráfico.

PRINCIPLE OF SELECTIVITY

El rendimiento analítico de los electrodos selectivos de iones está determinado por sus propiedades de membrana. Como su nombre indica, la principal ventaja de estos electrodos es que tienen un alto grado de selectividad. Por lo tanto, la composición de la membrana idealmente solo debe responder a un ion específico: catión o anión.

Aunque el electrodo de pH de vidrio fue inventado en 1906 por Cremer [8] Pasaron otros 60 años antes de que Frant y Ross [9] inventó el ISE de contacto sólido más exitoso: el ISE de fluoruro, hecho de un solo cristal de LaF_3 . Ese mismo año, Stefanac y Simon [10] desarrollaron el ISE de potasio utilizando valinomicina como ionóforo neutro incorporado en una membrana plastificada. Ambos enfoques se convirtieron rápidamente en el estándar del desarrollo de ISE de

contacto sólido, ampliando las posibilidades a otros nuevos desarrollos exitosos basados en estas configuraciones.

En general, la membrana plastificada preparada debe tener transferencia de iones/electrones reversible y ser altamente estable en medios acuosos para evitar la lixiviación de los componentes de la membrana [11]. En los ISE de contacto sólido, la membrana suele ser un polímero a base de PVC, normalmente preparado evaporando un cóctel de varios componentes mezclados en proporciones bien conocidas. Una receta típica se compone de la matriz de polímero (con o sin plastificante), un ionóforo y un aditivo iónico lipofílico para reducir la resistencia eléctrica.

Tabla 1. Componentes que se encuentran comúnmente en recetas clásicas de electrodos de contacto sólido potenciométricos. Acrónimos: BPA: adipato de bis(1-butilpentilo), CHA: ciclohexanona, DBS: sebacato de dibutilo, DOS: sebacato de dioctilo, KTCPB: tetrakis(4-clorofenil)borato de potasio, NaTPB: tetrafenilborato de sodio, NaTFPB: tetrakis(4-fluorofenil)borato de sodio dihidratado, O-NPOE: éter octílico de 2-nitrofenilo, PVC: cloruro de polivinilo, THF: tetrahidrofurano

Componente	Ejemplos
Solvente	CHA, THF
Matriz polimérica	CLORURO DE POLIVINILO
plastificante	BPA, DOS, O-NPOE
Aditivo iónico lipofílico	KTCPB, NaTPB, NaTFPB
Ionóforo	Ver referencias. [12–14]

Aparte de las propiedades físicas y químicas relacionadas con las consideraciones estructurales de la propia matriz polimérica, el componente más importante del «cóctel» (Tabla 1) es el ionóforo que le confiere selectividad al electrodo terminado. La naturaleza del ionóforo depende del tipo de catión o anión que se quiera cuantificar. Inicialmente, para desarrollar estos sensores se solían emplear intercambiadores de iones, pero carecen de función

de reconocimiento de iones, ya que su selectividad sigue la serie de Hofmeister. Un ejemplo clásico y exitoso de esto es el electrodo de iones de calcio desarrollado por Ross en 1967 [1]. Basado en un proceso de intercambio iónico, el intercambiador de cationes es un diéster alifático de ácido fosfórico donde el grupo fosfato tiene una fuerte afinidad por los iones calcio.

El término «ionóforo» nació más tarde, en la década

de 1960, y define compuestos químicos que se unen y transportan iones de forma reversible. Los ionóforos pueden ser naturales o sintéticos y generalmente contienen un centro hidrófilo que interactúa con los iones y una porción hidrófoba que interactúa con la membrana. Un ejemplo de un ionóforo natural exitoso es la valinomicina, una molécula transportadora neutra que se une selectivamente a los iones de potasio debido a su cavidad con dimensiones muy similares a las del K^+ . Se han desarrollado muchos ionóforos sintéticos para imitar un comportamiento similar al de la valinomicina.

EVALUATING SELECTIVITY

A pesar de ser conocidos por su buena selectividad, los electrodos selectivos de iones no son ideales: pueden producirse interferencias introducidas por el sensor que responde a la presencia de otros iones. La ecuación de Nernst (**Ecuación 1**) asumió que $mi_{medidas}$ Solo está relacionado con la respuesta del electrodo a un ion específico. Si consideramos la existencia de otros iones que también pueden estar presentes en la

Después de años de desarrollo, se han producido una gran cantidad de estructuras diferentes que varían desde especies macrocíclicas (por ejemplo, éteres corona, criptandos y calixarenos) hasta agentes quelantes basados en moléculas organometálicas, o incluso compuestos orgánicos simples que también exhiben propiedades ionofóricas (por ejemplo, fenoles). La selectividad y la estabilidad son las principales consideraciones al seleccionar un ionóforo sobre otro.

misma muestra, es necesario utilizar una nueva ecuación.

Considerando el ion interferente como B , su actividad correspondiente como a_B , y su carga como z_B , podemos incorporar un coeficiente de selectividad ($K_{A,B}$), extendiendo la ecuación de Nernst a la ecuación empírica de Nicolsky-Eisenman (**Ecuación 2**):

$$E_{meas} = K + \frac{0.05916}{z_A} \log \{a_A + K_{A,B}^{pot} (a_B)^{z_A/z_B}\}$$

where $K_{A,B}^{pot} = \frac{a_A}{(a_B)^{z_A/z_B}}$

Equation 2.

El coeficiente de selectividad de un ISE particular se puede definir como un valor numérico que refleja qué tan bien la membrana sensora puede discriminar un determinado ion interferente en comparación con el ion analito. Se denota como $K_{A,B}^{olla}$, donde A es el ion analito y B es el ion interferente. Si un sensor muestra una respuesta similar a ambos iones, entonces $K_{A,B}^{olla} = 1$, lo que significa que no se logra selectividad. Si la constante de selectividad es <1 , entonces la

membrana es más selectiva para el ion analito. Sin embargo, si este valor es >1 , el ISE es más selectivo al ion interferente. Cuanto más pequeño sea el $K_{A,B}^{olla}$, Cuanto menor sea el valor, menor será el impacto que tenga el ion interferente sobre el potencial medido. $mi_{medidas}$. Por ejemplo, si $K_{A,B}^{olla} = 10^{-3}$, entonces el ISE es 1000 veces más sensible a los iones. A (analito) que ion B (interferente).

Los datos experimentales cuando hay un ion interferente se muestran en **Figura 4**, previéndose tres situaciones diferentes en función de la fuerza del interferente. Cuanto más fuerte se considere que el interferente contra la membrana, mayor será el límite de detección (LD), por lo que el rango analítico que se puede medir se acorta.

Existen varios protocolos para calcular coeficientes de selectividad según recomendaciones de la IUPAC que también funcionan con sensores donde no se obtiene una respuesta nernstiana sino lineal [15]. La discusión sobre la selectividad y el límite de detección se aborda en profundidad en otra parte [16] y sus valores deben considerarse cuidadosamente al analizar muestras reales, ya que generalmente hay iones interferentes, por lo que el rango lineal puede verse comprometido dependiendo de la matriz de la muestra.

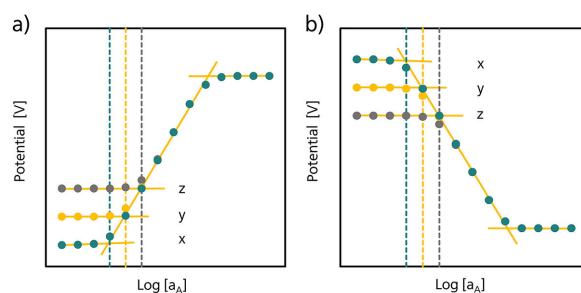


Figure 4. Datos experimentales para a) cationes y b) aniones donde las interferencias están ausentes (x), son débiles (y) o fuertes (z).

MINIATURIZATION AND PORTABILITY

Los ISE de estado sólido no tienen solución interna y emplean un polímero conductor o nanoestructuras (por ejemplo, nanocables, nanopartículas o nanotubos) como contacto sólido debajo de la membrana de referencia o selectiva de iones. Esto permite la miniaturización de los ISE, facilitando la portabilidad y haciendo posible el desarrollo de configuraciones portátiles. **Figura 5**). Trabajar con potenciostatos portátiles permite realizar mediciones in situ, mientras que trabajar con electrodos serigraviados selectivos de iones hace posible la cuantificación de iones en escenarios complicados o en circunstancias en las que las sondas convencionales no se pueden limpiar adecuadamente, por lo que deben descartarse.

Los sensores desarrollados con tecnología de serigrafía ofrecen nuevas posibilidades para mediciones in situ donde solo se requiere un volumen de muestra muy pequeño, ya que las muestras pueden ser costosas o escasas. Se pueden encontrar varios ejemplos de tales requisitos en los campos del medio ambiente, la biotecnología, el control de calidad o la industria, y especialmente en la investigación biomédica.

Además, estos sensores no requieren mantenimiento ni pretratamientos complejos como los que se necesitan cuando se utilizan dispositivos ópticos no portátiles.

Los sensores selectivos de iones serigraviados no requieren limpieza y se pueden desechar una vez finalizado el ensayo, lo que facilita su uso para diversos fines. Son especialmente prácticos para analizar muestras peligrosas.



Figure 5. Ejemplo de una novedosa configuración portátil en la que se utiliza un electrodo serigraviado selectivo de iones miniaturizado con un potenciostato portátil para realizar mediciones in situ.

GENERAL TIPS FOR WORKING WITH ION-SELECTIVE SCREEN-PRINTED ELECTRODES

Para trabajar con SPE selectivos de iones de Metrohm DropSens, a continuación se presentan varios consejos que los usuarios pueden seguir para lograr buenos resultados. Algunos consejos pueden parecer obvios, pero aun así es importante tenerlos en cuenta para mantener buenas prácticas de laboratorio. Los iones típicos detectados por estos sensores se utilizan como ejemplos en cada sección.

Utilice soluciones con una cantidad conocida de analito para obtener la gráfica de calibración. Esto se puede lograr pesando la cantidad correcta de analito y disolviéndolo en un volumen conocido de agua ultrapura o comprando el estándar correcto para el sensor deseado. En el caso, por ejemplo, de Na^+ y K^+ Los SPE selectivos de iones utilizan soluciones estándar de NaCl o KCl, respectivamente. Se pueden obtener fácilmente buenos datos de calibración utilizando estándares preparados en base a estos reactivos. Otros sensores del catálogo Metrohm DropSens también utilizan cloruro como contraión en la sal para estudiar su rendimiento analítico.

Prepare soluciones estándar con una concentración del analito dentro del rango lineal de los sensores. Para cada aplicación desarrollada, considere el rango lineal del sensor empleado. Esta información se proporciona en el folleto incluido con cada sensor fabricado por Metrohm DropSens. En el caso de K^+

SPE selectivos de iones, el rango lineal abarca desde 10^{-6} a 1 mol/L, y El rango lineal abarca desde 10^{-4} hasta 1 mol/L para Na^+ sensores. La linealidad con sensores potenciométricos solo se puede lograr representando el potencial obtenido como una respuesta analítica versus el logaritmo de la concentración del analito ensayado. Una representación típica grafica el potencial contra el exponente de la concentración probada, como se mostró anteriormente.

Se recomienda medir cada solución en triplicado para obtener datos suficientes para evaluar la precisión de los electrodos. Esta es una recomendación general al utilizar cualquier sensor adquirido, no solo para SPE selectivos de iones. Los electrodos Metrohm DropSens garantizan una precisión del 10 % con Na^+ y K^+ SPE selectivos de iones.

En general, la exactitud y la precisión siempre dependen de las soluciones probadas. Si la solución objetivo presenta efectos de matriz, la precisión y exactitud de los electrodos podrían cambiar debido a la naturaleza de la solución misma. La respuesta del sensor siempre debe probarse con la solución objetivo porque a veces se debe realizar un factor de corrección o un pretratamiento de la muestra. Este es un comportamiento común no sólo para los dispositivos de detección potenciométricos sino

CONCLUSION

A diferencia de las sondas de contacto líquido tradicionales de mayor tamaño, el desarrollo de sensores potenciométricos de contacto sólido basados en tecnología de serigrafía hace posible la miniaturización, lo que supone una ventaja crucial en muchos campos industriales o de investigación. Debido a su bajo consumo de energía, bajo costo y fácil operación, los electrodos serigrafiados selectivos de iones no solo son capaces de detectar iones con carga positiva y negativa, sino que también son muy adecuados para aplicaciones prácticas en pruebas en

el punto de atención.

Considerando la importancia que tienen hoy en día los sensores potenciométricos (reflejada en ejemplos comunes de ISE de potasio, calcio o fluoruro), es interesante entender cómo funcionan este tipo de electrodos, cómo es su rendimiento analítico y qué pueden ofrecer a los usuarios. De esta forma, se presenta una comprensión más amplia de estos sensores con varios consejos prácticos que hacen estos electrodos más accesibles a los analistas, ayudándolos a desarrollar sus propias aplicaciones.

REFERENCES

1. Ross, J. O. Electrodo selectivo de calcio con intercambiador de iones líquidos. *Ciencia* **1967**, 156 (3780), 1378–1379.
[DOI:10.1126/ciencia.156.3780.1378](https://doi.org/10.1126/ciencia.156.3780.1378)
2. Bloch, R.; Shatkay, A.; Saroff, H. A. Fabricación y evaluación de membranas como electrodos específicos para iones calcio. *Revista Biofísica* **1967**, 7 (6), 865–877. [DOI:10.1016/S0006-3495\(67\)86626-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(67)86626-8)
3. Hirata, H.; Dato, K. Membranas de caucho de silicona impregnadas con sulfuro de cobre (I) como electrodos selectivos para iones de cobre (II). *Talanta* **1970**, 17 (9), 883–887.
[DOI:10.1016/0039-9140\(70\)80185-0](https://doi.org/10.1016/0039-9140(70)80185-0)
4. Cattrall, R. W.; Freiser, H. Electrodos selectivos de iones de alambre revestido. *Anal. Química*. **1971**, 43 (13), 1905–1906.
[DOI:10.1021/ac60307a032](https://doi.org/10.1021/ac60307a032)
5. Cadogan, A.; Gao, Z.; Lewenstam, A.; et al. Electrodo selectivo de sodio de estado sólido basado en un ionóforo de calixareno en una membrana de poli(cloruro de vinilo) con un contacto sólido de polipirrol. *Anal. Química*. **1992**, 64 (21), 2496–2501.
[DOI:10.1021/ac00045a007](https://doi.org/10.1021/ac00045a007)
6. Liu, Y.; Gan, S.; Bao, Y.; et al. Electrodos selectivos de iones de contacto sólido: mecanismos de respuesta, materiales transductores y sensores portátiles. *Membranas* **2020**, 10 (6), 128.
[DOI:10.3390/membranas10060128](https://doi.org/10.3390/membranas10060128)
7. Buck, R. P.; Lindner, E. Recomendaciones para la nomenclatura de electrodos selectivos de iones (Recomendaciones IUPAC 1994). *Química pura y aplicada* **1994**, 66 (12), 2527–2536.
[DOI:10.1351/pac199466122527](https://doi.org/10.1351/pac199466122527)
8. Cremer, M. Über Die Ursache Der Elektromotorischen Eigenschaften Der Gewebe, Zugleich Ein Beitrag Zur Lehre von Den Polyphasischen Elektrolytketten. *Revista de biología* **1906**, 47, 562–608.
9. Frant, M. S.; Ross, J. O. Electrodo para detectar la actividad de iones fluoruro en solución. *Ciencia* **1966**, 154 (3756), 1553–1555.
[DOI:10.1126/ciencia.154.3756.1553](https://doi.org/10.1126/ciencia.154.3756.1553)
10. Simón, W.; Stefanac, Z. Comportamiento in vitro de macrotrófilos en membranas como base para un electrodo catiónico específico de alta selectividad *Sistemas. Chimia* **1966**, 20, 436–438.
11. Maksymiuk, K.; Stelmach, E.; Michalska, A. Cambios no deseados en la composición de las membranas selectivas de iones: origen y efecto sobre el rendimiento analítico. *Membranas* **2020**, 10 (10), 266.
[DOI:10.3390/membranas10100266](https://doi.org/10.3390/membranas10100266)
12. Umezawa, Y.; Bühlmann, P.; Umezawa, K.; et al. Coeficientes de selectividad potenciométrica de electrodos selectivos de iones. Parte I. Cationes inorgánicas (informe técnico). *Química pura y aplicada* **2000**, 72 (10), 1851–2082.
[DOI:10.1351/pac200072101851](https://doi.org/10.1351/pac200072101851)
13. Umezawa, Y.; Umezawa, K.; Bühlmann, P.; et al. Coeficientes de selectividad potenciométrica de electrodos selectivos de iones. Parte II. Aniones inorgánicas (informe técnico de la IUPAC). *Química pura y aplicada* **2002**, 74 (6), 923–994.
[DOI:10.1351/pac200274060923](https://doi.org/10.1351/pac200274060923)
14. Umezawa, Y.; Bühlmann, P.; Umezawa, K.; et al. Coeficientes de selectividad potenciométrica de electrodos selectivos de iones Parte III. Iones orgánicos: (Informe técnico de la IUPAC).
[DOI:10.1515/iupac.74.0092](https://doi.org/10.1515/iupac.74.0092)
15. Umezawa, Y.; Umezawa, K.; Sato, H. Coeficientes de selectividad para electrodos selectivos de iones: métodos recomendados para informar valores K_A , B_{pot} (informe técnico). *Química pura y aplicada* **1995**, 67 (3), 507–518.
[DOI:10.1351/pac199567030507](https://doi.org/10.1351/pac199567030507)
16. Bakker, E.; Bühlmann, P.; Pretsch, E. Electrodos selectivos de iones de membrana de polímero: ¿cuáles son los límites? *Electroanálisis* **1999**, 11 (13), 915–933.
[DOI:10.1002/\(SICI\)1521-](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-)

RELATED DOCUMENTS

[Entrada del blog: Electroodos selectivos de iones: Consejos generales - Parte 1](#)

Entrada del blog: Electroodos selectivos de iones: adición de patrones y medición directa - Parte 2

[WP-062ES: Superar las dificultades en la medición de iones: consejos para la adición de estándares y la medición directa](#)

CONTACT

Metrohm Hispania
Calle Aguacate 15
28044 Madrid

mh@metrohm.es

CONFIGURATION



Lector electroquímico autónomo personalizado para su aplicación final

DropStat Plus es un lector electroquímico personalizado destinado a los investigadores que han desarrollado satisfactoriamente un sensor electroquímico para obtener resultados inmediatos con base en un procedimiento optimizado. Al disponer de una pantalla táctil, una batería de iones de litio y la opción de transferir inalámbricamente sus datos, puede guardar hasta 3 métodos y hasta 8 calibraciones por método. Resulta ideal para personalizarlo como un aparato OEM o un aparato de etiqueta privada.



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de calcio

Los electrodos serigrafiados desechables tienen como base un ionóforo de calcio y sirven para la detección selectiva de este ion. Se recomienda usarlos para trabajar con microvolúmenes. Son ideales para realizar ensayos descentralizados y ensayos 'in situ'.



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de cobre

Los electrodos serigrafiados desechables tienen como base un ionóforo de cobre(II) para la detección selectiva de este ion; se recomienda usarlos para trabajar con microvolúmenes. Son ideales para realizar ensayos descentralizados y ensayos 'in situ'.



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de amonio

Estos electrodos serigrafiados desechables tienen como base un ionóforo de amonio para la detección selectiva de este ion; se recomienda usarlos para trabajar con microvolúmenes y son ideales para realizar ensayos descentralizados y ensayos 'in situ'.



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de sodio

Estos electrodos serigrafiados de carbono desechables (SPCE, por sus siglas en inglés) están modificados con un ionóforo de sodio en el electrodo de trabajo. Están diseñados para medir el ion de sodio mediante potenciometría de circuito abierto (OCP, por sus siglas en inglés) en una gama de concentración de 10^{-4} a 1 M (de 2,3 a 23 000 ppm).



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de potasio

Estos electrodos serigrafiados de carbono desechables (SPCE, por sus siglas en inglés) están modificados con un ionóforo de potasio en el electrodo de trabajo. Están diseñados para medir el ion de potasio mediante potenciometría de circuito abierto (OCP, por sus siglas en inglés) en una gama de concentración de 10^{-6} to 1 M (de 0,039 a 39 000 ppm).

Estos sensores de potasio son indicados para trabajar con microvolúmenes y son ideales para ensayos descentralizados y ensayos 'in situ'.



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de nitrato

Los electrodos serigrafiados desechables tienen como base un ionóforo de nitrato y sirven para la detección selectiva de este ion. Se recomienda usarlos para trabajar con microvolúmenes. Son ideales para realizar ensayos descentralizados y ensayos 'in situ'.



Electrodos serigrafiados de carbono modificados con ionóforo de hierro

Los electrodos serigrafiados desechables tienen como base un ionóforo de hierro(II) y sirven para la detección selectiva de este ion. Se recomienda usarlos para trabajar con microvolúmenes. Son ideales para realizar ensayos descentralizados y ensayos 'in situ'.