

SONDAS AMPEROMÉTRICAS Pt – Cu

1.- DESCRIPCIÓN

Una sonda amperométrica de platino-cobre para la determinación de cloro es un dispositivo de medición electroquímica que genera una corriente eléctrica provocada por una reacción redox (de oxidación-reducción) en los electrodos de platino y cobre, y que se utiliza para cuantificar la concentración de cloro libre (hipoclorito y ácido hipocloroso) en soluciones acuosas en plantas de tratamiento de agua potable, piscinas o procesos industriales.



2.- PARTES QUE COMPONEN LA SONDA

2.1. - Electrodo de platino (electrodo de trabajo)

En el electrodo de platino es el lugar donde ocurre la reacción de reducción del cloro libre. El cloro molecular (Cl_2) se reduce en la superficie del platino, lo que implica la ganancia de electrones. La reacción que se produce es la siguiente:



En esta reacción, el cloro molecular (Cl_2) pasa a ion cloruro (Cl^-) al ganar dos electrones. El platino, como material conductor de alta pureza y estabilidad, proporciona una superficie eficiente para que esta reacción electroquímica ocurra de manera correcta. Durante la reacción electroquímica en la superficie del platino, se transfiere una cantidad de electrones proporcional a la cantidad de cloro libre que se reduce, siendo esta transferencia de electrones la que genera una corriente eléctrica que es medida por el sistema amperométrico. El platino garantiza que la reacción se llevará a cabo de manera eficiente y que la corriente generada sea estable y proporcional a la concentración de cloro en el agua.

Hay que destacar que el platino es un material altamente conductor y resistente a la corrosión, lo que lo convierte en un material muy estable para uso en ambientes acuosos agresivos como el tratamiento de agua. En una sonda amperométrica, la capacidad del platino para conducir corriente sin corroerse es básica para asegurar la durabilidad y precisión de las lecturas, especialmente en soluciones con cloro que son químicamente muy reactivas.

2.2. - Electrodo de cobre (electrodo de referencia)

En una sonda amperométrica, el electrodo de referencia —en este caso, de cobre— mantiene un potencial constante respecto al electrodo de trabajo, que es de platino. Este potencial estable es esencial para asegurar que la diferencia de potencial entre ambos electrodos se mantenga fija durante la medición. Así, la sonda puede medir con precisión la corriente generada por la reacción electroquímica de reducción del cloro. A diferencia del electrodo de platino, el cobre no participa directamente en la reacción de reducción del cloro libre. Su función es pasiva y se enfoca en proporcionar el potencial necesario para que el proceso electroquímico ocurra de manera estable y medible. La estabilidad del cobre como electrodo de referencia garantiza que el potencial en el electrodo de platino se mantenga constante, permitiendo que la reducción del cloro libre ocurra de forma controlada. Sin esta estabilidad, las fluctuaciones del potencial podrían generar errores en la medición de la corriente y, en consecuencia, en la determinación.

2.3. - Esferas de vidrio

Las esferas de vidrio incorporadas en estas sondas, además de realizar una limpieza y pulido constante de la superficie del electrodo de cobre para mantenerlo perfectamente limpio, generan otros efectos que contribuyen a la estabilidad de la medición. Estas esferas homogeneizan y aumentan la superficie de contacto de la muestra en la base del electrodo, además de dispersar burbujas de aire que podrían interferir en una buena medición.

3.- IMPORTANCIA DEL CAUDAL DE PASO A TRAVÉS DE LA SONDA

El flujo en una sonda amperométrica de platino-cobre debe ser uniforme y mantenerse dentro de un rango aproximado de 30 a 60 litros por hora. Es crucial mantener el caudal constante para asegurar un contacto homogéneo del agua con los electrodos, lo que garantiza una concentración de cloro libre constante a través de la sonda y permite obtener mediciones precisas. Además, un caudal estable previene la formación de burbujas y depósitos que podrían interferir con la medición, optimizando tanto la sensibilidad como la estabilidad de la sonda. Esto resulta esencial para que la reacción electroquímica entre el cloro y los electrodos de platino-cobre sea proporcional a la concentración real de cloro en el agua. En caso de fluctuaciones en el caudal, la concentración de cloro libre podría variar produciendo lecturas inexactas.

4.- INTERFERENTES EN LA LECTURA DE LA SONDA

4.1. - Conductividad:

La conductividad del agua influye directamente en el rendimiento de la sonda. Si la conductividad es demasiado baja, el proceso electroquímico puede verse obstaculizado, afectando la transferencia de corriente entre los electrodos y produciendo lecturas inexactas o inestables. En cambio, un nivel de conductividad adecuado facilita una reacción electroquímica óptima, garantizando mediciones precisas y confiables del cloro libre. Por esta razón, es fundamental mantener la conductividad dentro de los rangos recomendados, que suelen oscilar entre un mínimo de 100-150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un máximo de 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Además, es importante considerar que un exceso de iones cloruro (Cl^-) puede interferir en la reacción electroquímica de la sonda, ya que compite con el cloro libre. Cuando las concentraciones de cloruros superan los 500 mg/L, pueden generar corrientes adicionales, lo cual provoca lecturas erróneas que indican falsamente una mayor concentración de cloro libre de la que realmente está presente.

4.2. - pH:

En una sonda amperométrica el pH del medio afecta la medición debido a cómo se comportan las especies de cloro en función de este parámetro. El cloro libre en solución acuosa se presenta principalmente como ácido hipocloroso (HOCl) e ion hipoclorito (OCl^-), cuya proporción depende del pH del agua.

En un $\text{pH} < 7$ predomina el ácido hipocloroso (HOCl), que es una especie más reactiva y fácilmente detectable, mientras que a $\text{pH} > 7,5$ es el ion hipoclorito (OCl^-) el que predomina, siendo menos reactivo y pudiendo generar una señal amperométrica diferente.

A modo de resumen, se podría decir que el rango idóneo de funcionamiento se situaría entre 6,5 – 7,5 que es donde el ácido hipocloroso es más reactivo electroquímicamente en la superficie del electrodo.

4.3. - Otros interferentes:

Dureza: elevados niveles de dureza provocan precipitaciones que, a medida que se acumulan en el electrodo, hacen que la señal amperométrica se debilite y que las mediciones de cloro libre sean menos confiables. Este mismo efecto puede ser provocado también por un exceso de sales de fosfato y sulfato.

Nitratos: la presencia de nitratos puede causar reacciones secundarias que alteran el potencial del electrodo o bien interactuar con el cloro en solución afectando la respuesta de la sonda, aunque su impacto es más limitado que en el caso de los interferentes anteriores.

Cianuro: la presencia de este componente reacciona con el cloro libre formando compuestos que hacen disminuir la concentración de cloro libre afectando a la lectura.

5.- FACTORES QUE DETERIORAN LA SONDA

5.1. - Electrodo de platino:

5.1.1 - Corrosión: aunque es un material altamente resistente a la corrosión, no es totalmente inmune a ella, es por ello por lo que en entornos donde hay alta concentración de iones cloruro (Cl^-) o sulfato (SO_4^{2-}), la corrosión puede acelerarse. Esto puede dar lugar a la formación de óxido de platino, que afecta la superficie activa del electrodo y a su capacidad para realizar mediciones precisas.

5.1.2 - Rotura física: normalmente las roturas se producen por un exceso de caudal a su paso por la sonda, dado que las esferas de vidrio que procuran una superficie limpia y pulida del electrodo de cobre, y ante un exceso de caudal, pueden golpear el electrodo dejándolo irreparable. La rotura de este elemento impide que la reacción electroquímica se lleve a cabo debido a la pérdida de corriente que genera y crea inestabilidad en el sistema dando lecturas falsas o directamente nulas del residual de cloro.

5.1.3 - Acumulación de depósitos: La presencia de sólidos en suspensión, como sedimentos o partículas, puede depositarse sobre la superficie del electrodo, impidiendo el contacto adecuado entre el cloro libre y el platino.

5.1.4 - Temperatura: temperaturas elevadas o fluctuaciones bruscas pueden causar estrés en el material del electrodo, contribuyendo a su deterioro.

5.2. - Electrodo de cobre:

5.2.1- Corrosión: La exposición a altos niveles de cloro libre puede provocar la corrosión del electrodo de cobre. Esta corrosión reduce la efectividad del electrodo y puede alterar las lecturas. Por este motivo, en este tipo de sondas se incorporan las esferas de vidrio que ayudan a mantener la superficie de los electrodos de cobre limpia y pulida dado que, al rodar y moverse con el flujo del agua, eliminan depósitos y partículas que podrían acumularse en el electrodo, asegurando un contacto óptimo con el líquido.

5.2.2 - Desgaste mecánico: el uso prolongado de la sonda puede causar desgaste físico en la superficie del electrodo que puede verse acelerado por un incorrecto y elevado caudal en el interior de la sonda. Un caudal excesivo puede provocar que las mismas esferas de vidrio se muevan demasiado rápido provocando surcos en la superficie del cloro que afectaría a la estabilidad y fiabilidad de la medición de cloro libre.

5.2.3 - Condiciones físico - químicas: la presencia de contaminantes en el agua, como materia orgánica, metales pesados o sólidos suspendidos, puede interferir con la reacción en el electrodo y acelerar su deterioro. Factores como el pH, la temperatura y la conductividad del agua también pueden influir en la corrosión del electrodo de cobre. Un pH bajo o un ambiente muy ácido pueden aumentar la corrosión.

5.2.4 - La pérdida total o parcial de las esferas de vidrio, o bien el desgaste de estas, aceleran el deterioro de la sonda de cobre al impedir un pulido y limpieza uniforme.

6.- MANTENIMIENTO DE LA SONDA

6.1. - Periódicamente se debe comprobar el estado de limpieza del electrodo Pt - Cu, sobre todo en equipos con funcionamiento discontinuo o estacional. La superficie del cobre debe permanecer siempre limpia de residuos, óxidos y perfectamente plana. Verificar también el estado de la espiral de platino. No debe presentar roturas ni deformidades, ya que ello afectaría a la lectura del controlador. En caso de presencia de incrustaciones en la superficie del cobre pueden eliminarse mediante papel ligeramente abrasivo, o bien mediante limpieza química con ácido clorhídrico a concentraciones entre el 5 y el 10% (máximo) durante muy breve tiempo.

6.2. - Las esferas de vidrio no deben girar ni demasiado lento, dado que estas se apoyarían en la base del cobre, pudiendo provocar surcos, ni demasiado rápidas, por el riesgo de deterioro de la espiral de platino. Orientativamente, la velocidad necesaria se sitúa entre los 30 - 60 litros/hora, aunque dependerá también de la presión de entrada.

6.3. - Respetar siempre los tiempos de estabilización de la sonda antes de proceder a la calibración de esta en los Equipos de Medición, dado que, en caso contrario, esta no se realizará de manera adecuada.

6.4. - La sonda debe calibrarse de manera periódica con el mismo tipo de agua a tratar para tener en cuenta las potenciales interferencias durante la medición.

6.5. - En el caso de presencia de iones que puedan interferir en la lectura podría optarse por instalar filtros adecuados para su eliminación previa a la entrada de la sonda.