

1. Objeto

Determinar la conductividad de una muestra de agua como parámetro importante, para establecer la calidad del agua y para correlacionarla con otros análisis como aniones, cationes y sólidos disueltos según lo establecido en la norma SM 2510 B, asegurando la entrega oportuna de resultados confiables a nuestros clientes y su satisfacción en la prestación del servicio. La metodología desarrollada comprende desde la calibración de la celda, hasta la medida de la conductividad de la muestra y cálculo de resistividad.

2. Alcance

Aguas residuales no domésticas, aguas residuales domésticas, aguas subterráneas, aguas superficiales.

3. Referencias Normativas

- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. STANDARD METHODS: For the Examination of Water and Wastewater, 23RD Edition, American Public Health Association 800 I Street, NW. Washington D.C., 2017. ISBN 978-087553-287-5.
- Instructivo para determinar Conductividad en aguas. Gestión de Tecnología de Negocio. Centro de Innovación y Tecnología. Departamento de Servicio Técnico del Laboratorio de Transporte y Transversales. Laboratorio de Aguas y Suelos. Instituto Colombiano de Petróleo.
- Manual de instrucciones. Conductímetro ORION 3 Star Series Meter Abridged.
- RODIER, J. Análisis de las Aguas. Aguas Naturales, Aguas Residuales, Agua de Mar. Ediciones Omega. Barcelona. 2011. ISBN 978-84-282-1530-5.

4. Definiciones.

- **Analito:** especie química que se analiza.
- **Blanco:** agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.
- **Blanco fortificado:** son una herramienta estadística que garantiza la calidad de los resultados, las cuales nos permiten llevar un control sobre las pruebas y a su vez sobre los equipos.
- **Calibración:** proceso mediante el cual se establece la relación entre la indicación de un instrumento o sistema, y el valor establecido para un patrón de medición.
- **Conductancia:** recíproco de la resistencia.
- **KCl:** Cloruro de Potasio.
- **K_m:** conductividad medida en unidades de $\mu\text{mho}/\text{cm}$ a una T °C.
- **Material de Referencia Certificado:** material de referencia, acompañado de un certificado, en el que una o más de sus propiedades está certificada por un procedimiento que establece trazabilidad a una realización exacta de la unidad en la que se expresa dicha propiedad, y para el que cada valor certificado está asociado a una incertidumbre con un nivel de confianza determinado.
- **mS/cm:** miliSiemens por centímetro.
- **Muestra:** parte representativa de la materia objeto del análisis.
- **NIST:** Instituto Internacional para Estándares y Tecnología.
- **Patrón:** medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para servir de referencia.
- **Resistividad:** es la inversa de la conductividad.
- **S.I.:** Sistema Internacional de Unidades.
- **SM:** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- **Solución de referencia:** solución preparada a partir de un reactivo grado analítico que contiene el analito a determinar. Solo deben ser empleadas para realizar verificaciones a los equipos, y para alimentar las blanco fortificado, ya que no se encuentran presentes los componentes de la matriz que acompañan al analito en las muestras.
- **μmho :** Micromhos

5. Condiciones Generales

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones, de la concentración total, movilidad, valencia, y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayoría de compuestos inorgánicos son relativamente buenas conductoras. A la inversa, las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas, conducen muy poco la corriente eléctrica o no la conducen.

El método consiste en la medida de la conductancia (G) de una solución entre los dos polos opuestos de una celda K.

La conductancia (G), se define como el recíproco de la resistencia:

$$G = 1/R \quad (1)$$

Donde la unidad de R es Ohm y G es Ohm^{-1} (algunas veces se escribe **mho**).

La medida de la capacidad para conducir la corriente eléctrica se expresa en el recíproco de **Ohm**, que es el **mho**. Una unidad más conveniente para el análisis de aguas es el **micromhos**.

Cuando la constante de la celda se conoce y se utiliza, la conductancia medida se convierte en la conductancia específica o conductividad.

Se prefiere el término conductividad y generalmente se informa en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$). En el sistema internacional de unidades (SI), el recíproco de Ohm es el Siemens (S) y la conductividad se reporta en miliSiemens por metro (mS/m).

$$\begin{aligned} 1\text{mS/m} &= 10 \mu\text{mhos/cm} \quad \circ \\ 1 \mu\text{mho/cm} &= 0,1\text{mS/m} \quad \circ \\ 1\mu\text{S/cm} &= 1\mu\text{mho/cm} \end{aligned}$$

Para informar los resultados de la conductividad en unidades S.I., se divide la conductividad en $\mu\text{mhos/cm}$ por 10.

La conductancia de una solución, **G**, es directamente proporcional al área de la superficie del electrodo, **A** (cm^2), e inversamente proporcional a la distancia **entre** los electrodos, **d** (cm).

$$\text{Conductancia medida} = G = k * (A/d) \quad (2)$$

La constante de proporcionalidad (k) se llama conductividad, preferiblemente conductancia específica. Esta es una característica propia de la solución entre las celdas.

Para una celda con electrodos fijos, la relación d/A es una constante, llamada constante de la celda (K). Por consiguiente:

$$G = C/K$$

Entonces:

$$C = G * K \quad (3)$$

Conductividad = Conductancia medida x Constante de celda

Ejemplo: la conductancia de una solución medida en una celda con una constante de $0.1/\text{cm}$ ($K=0.1/\text{cm}$), dio 100 micromhos ó 100 microsiemens, entonces aplicando la ecuación (3) la conductividad será:

$$\text{Conductividad (C)} = 100 \mu\text{S} \times 0.1/\text{cm} = 10 \mu\text{S/cm}$$

En unidades S.I., la constante $K=0.1/\text{cm}$ se convierte en $K=10/\text{m}$, porque:

$$K = \frac{0.1}{\text{cm}} \times \frac{100\text{cm}}{\text{m}} = \frac{10}{\text{m}}$$

La misma conductividad del ejemplo anterior se expresa en unidades internacionales S.I. como:

$$c = 100\mu S \times \frac{10}{m} = \frac{1000\mu S}{m} = \frac{1mS}{m}$$

El agua destilada fresca tiene una conductividad de 0.5 a 3.0 $\mu S/cm$, que aumenta después de unas pocas semanas de almacenamiento. Este aumento en la conductividad es causado principalmente por absorción de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico y en menor grado por el amoníaco.

La conductividad de las aguas potables oscila generalmente entre 50 y 1500 $\mu S/cm$. La conductividad de las aguas residuales domésticas puede estar próxima a la conductividad del suministro hídrico local, aunque algunos residuos industriales registran conductividades superiores a 10000 $\mu S/cm$.

Nota 1: los valores de la Tabla 1 están basados en unidades absolutas Ohm, la temperatura estándar 25 °C y el volumen estándar (dm^3). Los valores son precisos $\pm 0.1\%$ o 0.1 $\mu S/cm$, lo que sea mayor.

Nota 2: estas concentraciones son las utilizadas en la calibración del equipo empleando estándares certificados.

Tabla 1. Conductividad equivalente y Conductividad K, de Cloruro de potasio (KCl) a 25 °C

Concentración de KCl en M o en equivalente/L	Conductividad Equivalente, (S-cm ² /equivalente)	Conductividad, K _s , (μS/cm)
0	149.9	
0.0001	148.9	14.9
0.0005	147.7	73.9
0.001 (Nota 2)	146.9	146.9
0.005	143.6	717.5
0.01 (Nota 2)	141.2	1412
0.02	138.2	2765
0.05	133.3	6667
0.1 (Nota 2)	128.9	12890
0.2	124.0	24800
0.5	117.3	58670
1	111.9	111900

A continuación, se reporta la corrección de temperatura a 25°C, para equipos que no lo realizan automáticamente con la siguiente fórmula

$$C_{25^{\circ}C} = C_T \times f \quad (4)$$

Dónde: C_T = Conductividad obtenida a la temperatura leída con el termómetro

f = se obtiene en la tabla de factor de corrección de temperatura.

Tabla 2. Factor de corrección de temperatura f_{25}

°C	f_{25}									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,918	1,912	1,906	1,899	1,893	1,887	1,881	1,875	1,869	1,863
1	1,857	1,851	1,845	1,840	1,834	1,829	1,822	1,817	1,811	1,805
2	1,800	1,794	1,788	1,783	1,777	1,772	1,766	1,761	1,756	1,750
3	1,745	1,740	1,734	1,729	1,724	1,719	1,713	1,708	1,703	1,698
4	1,693	1,688	1,683	1,678	1,673	1,668	1,663	1,658	1,653	1,648
5	1,643	1,638	1,634	1,629	1,624	1,619	1,615	1,610	1,605	1,601
6	1,596	1,591	1,587	1,582	1,578	1,573	1,569	1,564	1,560	1,555
7	1,551	1,547	1,542	1,538	1,534	1,529	1,525	1,521	1,516	1,512

8	1,508	1,504	1,500	1,496	1,491	1,487	1,483	1,479	1,475	1,471
9	1,467	1,463	1,459	1,455	1,451	1,447	1,443	1,439	1,436	1,432
10	1,428	1,424	1,420	1,416	1,413	1,409	1,405	1,401	1,398	1,394
11	1,390	1,387	1,383	1,379	1,376	1,372	1,369	1,365	1,362	1,358
12	1,354	1,351	1,347	1,344	1,341	1,337	1,334	1,330	1,327	1,232
13	1,320	1,317	1,313	1,310	1,307	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290
14	1,287	1,284	1,281	1,278	1,274	1,271	1,268	1,265	1,262	1,259
15	1,256	1,253	1,249	1,246	1,243	1,240	1,237	1,234	1,231	1,228
16	1,225	1,222	1,219	1,216	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,199
17	1,196	1,193	1,191	1,188	1,185	1,182	1,179	1,177	1,174	1,171
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,198	1,096	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981
26	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961
27	0,959	0,957	0,955	0,953	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942
28	0,940	0,938	0,936	0,934	0,933	0,931	0,929	0,927	0,925	0,923
29	0,921	0,920	0,918	0,916	0,914	0,912	0,911	0,909	0,907	0,905
30	0,903	0,902	0,900	0,898	0,896	0,895	0,893	0,891	0,889	0,888
31	0,886	0,884	0,883	0,881	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,871
32	0,869	0,867	0,866	0,864	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856	0,854
33	0,853	0,851	0,850	0,848	0,846	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839
34	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	0,828	0,826	0,825	0,823
35	0,822	0,820	0,819	0,817	0,816	0,814	0,813	0,811	0,810	0,808

5.1 Interferencias.

- Aceite o compuestos orgánicos que recubran las celdas, pueden dar lecturas erróneas.
- La exposición de la muestra al aire puede causar cambios en la conductividad debido a la pérdida de gases disueltos.

5.2 Muestreo, preservación y almacenamiento.

Tomar muestras representativas siguiendo las instrucciones establecidas en la norma SM 1060. La muestra se recolecta en recipiente de vidrio o plástico, y puede ser muestra puntual o compuesta, se recomienda refrigerar durante el almacenamiento, con un tiempo máximo de almacenamiento de 28 días.

Adicionalmente, para la recepción, manejo y disposición final de las muestras, debe consultarse el instructivo del laboratorio "Manejo de muestras y disposición final de residuos".

5.3 Materiales y Equipos

5.3.1 Materiales.

- Vaso precipitado de 50 mL
- Balón aforado 100 y 500 mL
- Pipetas aforadas 50 y 5 mL

5.3.2 Equipos.

- Aparato para medir conductividad, Multiparámetro HACH HQ14d y la sonda (celda) CDC401 (Ver manual de operación de los equipos)
- Celda de conductividad para el Multiparámetro.
 - Constante (K) 0.40/cm \pm 10% (Rango medición: 0.01 μ S/cm -200 mS/cm)

5.3.3 Reactivos.

- **Aqua tipo II y/o destilada**
- **Solución de cloruro de potasio (KCl) 0.01M** certificado y trazable a NIST (Conductividad= 1.413 mS/cm)
- **Solución de cloruro de potasio (KCl) 0.001M** certificado y trazable a NIST (Conductividad= 0.147 mS/cm)
- **Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.1 M:** disolver 0.7456 g de KCl secado a 150 °C (secar durante dos horas hasta que la pérdida de peso sea menor que 0.02%), en agua tipo II y/o destilada, diluir hasta 100 mL.
- **Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.2 M:** disolver 7.4551 g de KCl secado a 150 °C (secar durante dos horas hasta que la pérdida de peso sea menor que 0.02%), en agua tipo II y/o destilada, diluir hasta 500 mL.
- Soluciones de referencia de KCl 0.01 M, 0.001 M para los blancos fortificado alta y baja.

La preparación de las soluciones estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.01 M y 0.001 M se establecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Preparación de soluciones estándar de cloruro de potasio (KCl)

Concentración M	Solución estándar KCl 0.1M	Volumen de aforo (mL)	Periodicidad de preparación solución
0.1	----	100	Cada vez que se requiera
0.01	50	500	Mensual*
0.001	5	500	Mensual*

*O cuando se requiera preparar la solución estándar 0.1M de KCl según lo establecido en el numeral 5.3.3.

6. Contenido.

A continuación, se presentan las actividades para desarrollar el análisis de conductividad y resistividad en aguas.

6.1 Limpieza y almacenamiento de las celdas

Para el equipo Multiparámetro HACH HQ14d y la sonda (celda) CDC401:

Seguir el procedimiento de limpieza según el tipo de contaminante al que estuvo expuesta la celda como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Lavado de celda después de trabajar una muestra contaminada.

Contaminante	Solución de limpieza	Tiempo Recomendado
Contaminantes generales	Lavar con agua destilada o Tipo II	Secado con trapo limpio inmediato
Grasas y aceites	Sumergir en agua caliente y una solución de detergente	limitado
Formación de minerales	Sumergir en una solución de ácido clorhídrico diluido al 10%	5min después enjuagar el electrodo por completo con agua desionizada y secar con trapo limpio

La replatinización de la celda puede requerirse cuando las medidas se hacen lentas, erróneas o incoherentes, o cuando la celda presente cambios constantes de más del 10% de la constante nominal de celda. Esta replatinización se hace depositando una capa completamente fresca de platino negro sobre la superficie de la lámina, que restaura el funcionamiento y la confiabilidad de los resultados.

Al imprimir este documento se convierte en copia no controlada del SIG y su uso es responsabilidad directa del usuario

6.2 Determinación de la constante de la sonda (celda) para el Multiparámetro HACH HQ14d

Calibrar el equipo con las soluciones Certipur, empleando la celda de 1 cm⁻¹, leer las soluciones de menor a mayor conductividad. El equipo calcula automáticamente la constante de la celda. Este valor debe estar en el rango de 0.9 a 1.1 cm⁻¹.

El ajuste de la constante de celda de 0.1 cm⁻¹ se realiza manualmente, leyendo una solución Certipur de 146.9 µS/cm, ajustar la constante hasta obtener el valor teórico de conductividad de la solución (146.9 µS/cm). Este valor debe estar en el rango de 0.09 a 0.11 cm⁻¹.

6.3 Medida de la conductividad

- Lavar cuidadosamente la celda tres veces con agua tipo II y/o destilada por inmersión.
- Atemperar la muestra entre 20 °C - 25° C.
- Lavar la celda con dos porciones diferentes de la muestra.
- El ajuste de temperatura a 25 °C se realiza mediante la implementación de la ecuación 4 y la tabla 2.
- Dependiendo de la celda a utilizar seguir el procedimiento para la lectura de la muestra:

- **Celda de 0.40/cm ± 10% (Rango medición: 0.01 µS/cm -200 mS/cm)**

Multiparámetro HACH HQ14d: sumergir la celda en una tercera porción de la muestra, de tal forma que la celda quede dentro del líquido y que en la cámara no queden burbujas de aire atrapadas. Para evitar esto, golpear suavemente la celda y sumergir dos o tres veces para asegurar un remojo apropiado.

- Medir la conductividad en el Multiparámetro HACH HQ14d. (Ver especificaciones técnicas del equipo).
- Registrar el valor obtenido en la bitácora del análisis y en el sistema a 25 °C, en caso de que el equipo no realice la compensación de temperatura automáticamente, realizarla mediante cálculo matemático como se indica en la ecuación 4 tabla 2.

Nota 3: La celda o sonda de temperatura se deben colocar en la solución de tal forma que no toquen las paredes o el fondo del recipiente.

Nota 4: La medida que relaciona los sólidos disueltos y la conductividad eléctrica debe estar entre 0,5 – 0,7 y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Sólidos disueltos totales calculados/conductividad} = (0,55 - 0,7)$$

Si los resultados no cumplen dicha relación, se debe repetir el análisis.

6.4 Cálculos

El cálculo de la Resistividad a partir de la conductividad se realiza de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$R = \frac{10.000}{\text{Conductividad} \left(\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}\right)} = \text{Resistividad (ohm} \times \text{m)}$$

$$R = \frac{10}{\text{Conductividad} \left(\frac{\text{mS}}{\text{cm}}\right)} = \text{Resistividad (ohm} \times \text{m)}$$

6.5 Controles de calidad requeridos

Para garantizar la calidad de los resultados emitidos, los controles de calidad establecidos para el método de ensayo son los siguientes:

Blanco fortificado: analizar una solución de referencia de concentración conocida (Soluciones de referencia cloruro de potasio KCl 0.01 M, 0.001 M para los blancos fortificados alta y baja), procesarla con todos los pasos

Al imprimir este documento se convierte en copia no controlada del SIG y su uso es responsabilidad directa del usuario

de preparación y análisis de las muestras, con la finalidad de evaluar el rendimiento del método.

Estándar de calibración

Blanco fortificado: blanco con una concentración de analito conocida.

Duplicado: seleccione aleatoriamente muestras de rutina para ser analizadas dos veces. Analizar en cada set de 20 muestras (o menos)

6.5.1 Incertidumbre

La estimación de la incertidumbre para el análisis de nitritos método fotométrico fue desarrollada de acuerdo al instructivo general "Estimación de incertidumbre".

6.5.2 Reporte de resultados

Una vez realizados los cálculos y la revisión, para asegurar la calidad y confiabilidad de los mismos, el valor obtenido debe ser reportado, teniendo en cuenta el instructivo general "Manejo de cifras significativas".

7. Flujograma

No Aplica.

8. Documentos de Referencia

- Bitácora del análisis
- Formato de uso de equipo
- Carta de control
- Bitácora de balanza

9. Historial de Cambios

Versión	Fecha	Cambios	Elaboró / Modificó	Revisó	Aprobó
01	13/03/2019	Documento Nuevo	Mario Gutiérrez <i>Prof. de Calidad</i>	Karen Mendoza <i>Responsable unidad</i>	Mario Gutiérrez <i>Prof. de Calidad</i>
02	13/08/2021	Se realiza ajuste de referencia del equipo y sonda	Laurentino Matta <i>Analista Lab.</i>	Joan Patiño <i>Responsable Unidad</i>	Juan M. Trujillo <i>Director CCA</i>
03	03/08/2022	Se ajustó el alcance y nomenclatura del blanco fortificado	Eliana Quiñones <i>Asistente Lab.</i>	Karen Mendoza <i>Prof. Calidad CCA</i>	Juan M. Trujillo <i>Director CCA</i>