



Conductímetro de bajo costo – Parte I: Diseño del circuito

por Bisang Juan, Groel Néstor y Pucheu Juan

*En esta primera parte del artículo se detalla el diseño de un instrumento para medir la **conductividad** en nuestros acuarios. Se discute el diseño y se aportan los resultados de la calibración de los prototipos. El instrumento tiene una incerteza estimada de $\pm 1.5\%$ con respecto a un **conductímetro** de laboratorio seleccionado como patrón. El costo total se estima en \$36 (u\$s 12) cómo máximo pudiendo ser menor.*

1. Introducción

La **conductividad** del agua que rodea a los seres que cuidamos y reproducimos en nuestros acuarios es uno de los parámetros más importantes que puede medir el acuarista. La presión osmótica que soportan los tejidos de los seres acuáticos depende de la cantidad y tipo de sustancias disueltas. A falta de un análisis químico detallado, puede usarse la **conductividad** del agua para orientarnos sobre la calidad de la misma. No puede utilizarse la **conductividad** para determinar la cantidad exacta de sustancias o el tipo de sales disueltas si no se posee un análisis químico detallado, pero si puede utilizarse con confianza para determinar niveles relativos o degradación de la calidad del agua debido a la acumulación de metabolitos.

Habitualmente los acuaristas desconocen el valor de la **conductividad** de sus acuarios por el sólo hecho de no tener acceso a un instrumento económico y fiable. A diferencia de los medidores de pH, los **conductímetros** poseen un electrodo (celda en este caso) fácilmente realizable por el aficionado y el circuito del medidor en si mismo es simple de llevar a la práctica sin poseer conocimientos de electrónica. Basta con un poco de paciencia y algo de buena mano para el bricolaje.

2. Principio de funcionamiento

Todo lo referente a la teoría sobre la **conductividad** de los líquidos debe ser buscado en la sección de química de nuestro sitio. En este artículo sólo vamos a preocuparnos de como medirla con razonable precisión para un acuarista.

Para poder evaluar la **conductividad** de un determinado líquido, basta con permitir circular una corriente alterna a través de un volumen preestablecido y medir la resistencia del líquido delimitado por el mismo.

Habitualmente se construye a estos fines una celda de medidas físicas definidas que contiene dos o más electrodos responsables de poner en contacto la electricidad con el líquido. Los electrodos definen el volumen de la celda ya que poseen un área determinada y están separados por una distancia conocida. Si bien la definición de **conductividad** presupone una celda de 1 cm^3 , podemos alterar las dimensiones físicas siempre y cuando tengamos en cuenta este hecho.

Existe un método alternativo para evaluar la **conductividad** de un líquido pero no será utilizado en nuestro medidor. En líquidos con conductividades cercanas a la del agua marina suele preferirse la medición de la **conductividad** en forma indirecta evaluando la variación de la permisividad magnética en el seno de un campo magnético inducido sobre un volumen conocido de líquido. En ese caso se calibra la respuesta del sensor en laboratorio a distintas conductividades y se logra de esa manera que los electrodos no entren en contacto con el líquido para evitar así su rápida degradación. Si bien nuestro **conductímetro** puede medir agua marina, es recomendable en esos casos analizar la posibilidad de utilizar los magnéticos de medición indirecta ya que se priorizó en el diseño de este instrumento, responder a rangos de **conductividad** inferiores a $10.000 \mu\text{S}$.

3. Los electrodos de nuestro medidor

Primero resolveremos el problema de como realizar la celda de nuestro medidor, ya que dependiendo de ella es que fijaremos los parámetros del circuito. Para hacerlo tendremos en cuenta los siguientes puntos.

3.1. Cantidad de electrodos

Es habitual en los medidores de laboratorio encontrar celdas que poseen 4 electrodos. Estas celdas son diseñadas para minimizar los efectos de corrosión en los electrodos causados por la circulación de la corriente utilizada durante la medición. En los casos donde se realicen mediciones continuas de la **conductividad** durante períodos de tiempo prologado (semanas o meses) es particularmente recomendable adoptar esta modalidad, pero no es necesario hacerlo en nuestro caso.

La celda de dos electrodos es simple de construir y simplifica el circuito de medición. Adoptaremos el esquema de dos electrodos en este **conductímetro**.

3.2. Material

En las celdas que serán utilizadas en líquidos corrosivos se utiliza habitualmente platino tratado especialmente, pero como los acuaristas medimos habitualmente líquidos no corrosivos, bastará con construirla de acero inoxidable. Esta decisión puede verse justificada en ([Rocha et. al., 1997](#)), trabajo donde se demuestra que en el rango de líquidos que podría medir un acuarista, el inoxidable puede suplir perfectamente los onerosos electrodos de platino.

3.3. Dimensiones

Podemos alterar las dimensiones de nuestra celda de medición con respecto a la definición de **conductividad**, siempre y cuando tengamos en cuenta este factor en nuestro medidor. Hemos evaluado al menos una docena de alternativas distintas para la construcción de la celda, pero la seleccionada fue la que aportó las mejores relaciones de costo, linealidad, repetitividad y facilidad de construcción.

Es imposible asegurar que las celdas construidas por el aficionado posean la precisión necesaria para garantizar siempre el mismo coeficiente de ajuste, por lo que no es conveniente diseñar un circuito que presuponga un coeficiente determinado en la celda, ya que desconocemos el valor exacto del coeficiente de cada celda construida. En la práctica basta con calibrar el medidor y la celda juntos contra una **solución** patrón de **conductividad** conocida, para que las mediciones posteriores tengan en cuenta correctamente el coeficiente de la celda.

En la tercer parte de este trabajo describiremos el armado de dos opciones de celda distintas, con aproximadamente el mismo coeficiente. Ambas están basadas en los mismos electrodos pero están orientadas a distintos usos. El circuito del conductímetro ha sido diseñado y dimensionado en base a esas celdas, pero el aficionado puede hacer modificaciones a la misma con pocas o ninguna modificación al circuito.

4. El circuito o medidor propiamente dicho

El objetivo de este circuito es brindar al acuarista un instrumento que aproxime en forma confiable la **conductividad** del agua de sus acuarios o de un biotopo. Estamos limitados principalmente por el presupuesto que debe ser realmente bajo, la facilidad de armado y la disponibilidad de los componentes electrónicos o de bricolaje.

A esas tres limitaciones debemos sumarle que deseamos un instrumento de mano que opere con baterías y de consumo reducido, para poder utilizarlo durante un período prolongado sin preocuparnos de la recarga o reemplazo de las mismas.

Nos hallamos claramente ante una **solución** de compromiso, donde deberemos sacrificar algunas características para obtener otras. Hemos trabajado con el objetivo que esta **solución** presentada sea permisible en modificaciones de circuito, dimensiones o implementación. El objetivo es diseñar un instrumento que pueda construir cualquier acuarista y que pueda admitir variaciones generales en el diseño sin comprometer los resultados.

Los circuitos citados en las referencias cumplen con las condiciones del primer párrafo, pero no lo hacen con las del segundo. Están diseñados para ser utilizados con alimentación de la red y adaptarlos al uso de batería no es directo, aunque posible.

Algo que tienen en común algunos de los circuitos referenciados es que utilizan un **multímetro** comercial para obtener la lectura de la **conductividad** en lugar de construir un indicador propio. Nosotros tomaremos la misma decisión debido a que esto simplifica y economiza el proyecto. La producción en escala permite que un **multímetro** comercial ya construido sea más económico para el aficionado que adquiriendo todas las partes por separado y ensamblándolas. Los **multímetros** comerciales son livianos y confiables (dentro de nuestros objetivos), ya vienen ensamblados en una cómoda caja y poseen las baterías y alojamiento para las mismas. Para simplificar el armado final y uso, nuestro circuito debería poder utilizar las baterías del propio **multímetro** y funcionar integrado a el.

Este será el punto de complejidad de nuestro circuito, el poder adaptarse a ser incluido en el interior de un instrumento que no fue diseñado para medir **conductividad**. El circuito teórico diseñado debe funcionar entonces con cualquier **multímetro** comercial, o al menos con gran variedad de ellos.

4.1. El circuito teórico

En el diseño de este circuito tuvimos especial cuidado de recordar continuamente que sería construido por acuaristas y no técnicos electrónicos. Ninguno de los componentes seleccionados es de valor crítico y admite variaciones en su valor nominal sin comprometer el funcionamiento del circuito.

No es el objetivo de un sitio de acuarismo analizar un circuito electrónico aún en el área de bricolaje, por lo tanto sólo revisaremos los puntos relevantes del mismo. A nivel general, explicaremos los bloques que lo componen para entender como es que se puede medir la **conductividad** de un líquido y algunos puntos específicos que son importantes de remarcar.

Nota:

El circuito aquí presentado es una actualización del circuito original publicado que mejoro la estabilidad del circuito ante el desgaste de la batería del **multímetro**. Si alguien estuviese interesado en el texto y circuito originales puede solicitarlos al webmaster de la asociación.

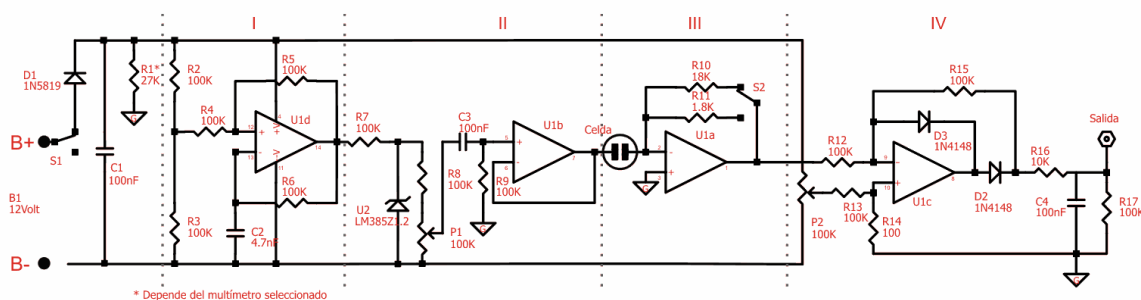


Figura 1: Circuito teórico del **conductímetro**.

Puede apreciarse en la **Figura 1** el circuito teórico del **conductímetro**. Existen 4 zonas bien diferenciadas en el mismo.

- **Zona I:** En esta parte del circuito se genera la señal alterna que nos permitirá alterar el sentido de la corriente en los electrodos a la frecuencia que necesitamos. Se escogió una frecuencia cercana a los 1000Hz, pero carece de importancia ajustar una frecuencia determinada en forma precisa. Debido a los componentes seleccionados para simplificar el armado, la frecuencia real de trabajo será un poco inferior a la escogida.
- **Zona II:** Aquí se ajusta la amplitud de la señal para adaptarla a las distintas celdas que pueda construir el aficionado y se amplifica la señal para no tener problemas, aún ante variaciones en la **conductividad** de 3 órdenes de magnitud.
- **Zona III:** Aquí es donde se realiza lo más importante. Apenas la corriente atraviesa la celda, es amplificada y transferida a la última etapa. Las resistencias R10 y R11 fijan en que escala estará trabajando el **conductímetro**. Utilizando la celda propuesta, la primera escala se obtiene seleccionando R10 y es de 0 a 200 μ S y seleccionando R11, de 0 a 2.000 μ S. Si el aficionado deseara modificar estos rangos, debe modificar el valor de esas resistencias. En el caso que el aficionado construya una celda con un coeficiente no previsto en el circuito, pueden alterarse los valores absolutos de las mismas pero respetando la relación necesaria para los factores de escala. En la implementación del circuito práctico además se debe tener en cuenta el punto decimal.

-
- **Zona IV:** Esta última etapa realiza dos funciones. La primera, a través de P2, es ajustar el valor “cero” cuando la celda esta sin líquido y la segunda convertir la corriente oscilante generada en la primer zona en un valor de corriente continua que nuestro **multímetro** pueda leer.

Un tema importante es el amplificador operacional seleccionado. Se ha elegido un circuito integrado relativamente común, económico y fácil de conseguir en casas especializadas de electrónica, el TL064. No obstante, ante dificultades para obtenerlo, puede ser reemplazado en forma directa por el TL084, que es un circuito utilizado en la industria electrónica por más de 20 años y por lo tanto es de muy fácil adquisición. Ambos circuitos integrados son intercambiables en nuestro diseño, pero el TL084 consume 15 veces más corriente que el TL064, aunque el circuito total, incluyendo el **multímetro**, consume sólo 6 veces más.

Hay que tener en cuenta que estamos utilizando circuitos de bajo coste, por lo que no podemos exigirle característica de otros de mayores prestaciones. Una de las limitantes de esta elección es que en algunas presentaciones de ese circuito integrado, la corriente de entrada no permitiría garantizar la linealidad absoluta de la sonda en una escala que posea un máximo de 20 μS .

El circuito ha sido protegido contra colocación errónea de las baterías, pero sea cuidadoso de todas maneras con la polaridad de la misma. El circuito ha sido protegido contra variaciones en el voltaje de la batería causado por el desgaste o agotamiento de las mismas. De la medición de los prototipos se obtuvo que no existe variaciones en la calibración hasta un voltaje de batería de 7 volts (60% del voltaje nominal de la misma) donde el circuito del **multímetro** anuncia la señal de batería agotada. Aún disminuyendo el voltaje hasta 6.4 volt el valor calibrado no cambia pero por debajo del mismo el **multímetro** deja de funcionar correctamente (a pesar que nuestro circuito sigue haciendolo) y debe remplazarse la batería. En resumidas cuentas, aún luego de obtener un aviso por parte del **multímetro** de cambio de batería, el acuarista puede seguir midiendo un tiempo sabiendo que los resultados son correctos, aunque se recomienda el cambio inmediato de la misma por una de repuesto.

Un inconveniente de montaje puede encontrarse en la elección de R10 y R11. Si estos valores no son seleccionados de manera tal que su relación sea exactamente la deseada en el cambio de escala, habitualmente 10:1, pueden introducirse variaciones en el valor medido en cada escala. El peor caso observado en los prototipos, con resistencias al 5% de tolerancia seleccionando mediante un **multímetro** un par óptimo, fue menor a 2 μS en una medición cercana a los 200 μS . Entendemos que esta diferencia no es relevante para un acuarista, pero debemos tener en cuenta seleccionar correctamente esas dos resistencias para mantener esta fuente de error al mínimo. Debido al hecho que estamos trabajando todo en la misma escala del **multímetro**, en realidad 200 μS en la menor escala del instrumento representa 200 mV, mientras que en la otra escala representa 20mV. Esto acarrea un problema adicional y es una desviación extra agregada por el propio instrumento al medir valores tan sisimiles de voltaje y es debido a que por su bajo costo, no es todo lo lineal que se esperararía. Este hecho es independiente de nuestro circuito y mejora o se reduce con **multímetros** de mayor costo. El peor error total observado en los prototipos al realizar el cambio de escala, atribuidos a incertezas en el cociente de las resistencias R10/R11 sumado al propio error del **multímetro**, fue como máximo de $\pm 3\mu\text{S}$ en lecturas cercanas a los 200 μS .

Es oportuno hacer otra observación. A pesar que no es aplicable la medición en TDS en acuarios, o por lo menos no es conveniente utilizarla, no se trata más que de un factor de corrección de 0.5 a la medición en μS . Si las resistencias R10 y R11 se eligen con factor 2 una escala indicaría μS y la otra TDS (en el sentido estándar de la definición). Si se desea que el **conductímetro** mida en TDS en todas las escalas, simplemente debe recalibrarse P1 con la **solución** calibradora deseada y el medidor entonces trabajará con la escala seleccionada.

En caso que el acuarista no necesite disponer de dos escalas distintas, simplemente puede obviarse S2 y una de las dos resistencias. Esto puede ser de utilidad para personas que poseen todos sus acuarios en un rango muy específico de **conductividad**, por ejemplo 100 μS , donde con la escala de 200 μS posee rango suficiente de medición, o donde 1 μS es precisión suficiente y con la escala de 0-2000 μS se cubren las necesidades normales. Al poseer una sólo escala, el error introducido por cambio de escala no es observable.

Si bien el circuito podría funcionar en varios rangos de salida en voltaje, utilizamos el de 200mv para asegurarnos quedar dentro del rango de linealidad del amplificador operacional en las condiciones de este circuito. Este rango suele ser el que posee el menor error porcentual en los **multímetros** de bajo costo. Las resistencias R10 y R11 fueron seleccionadas para que el rango de voltaje en la celda se mantenga por debajo de los 500mv para reducir los posibles efectos sobre el

líquido medido.

Por último es necesario aclarar que la resistencia R1 fue incluida únicamente por el hecho que algunos circuitos de **multímetros** comerciales la necesitan cuando se alimenta un circuito integrado de su propia batería y la medición es con respecto a la referencia a tierra generada en el propio circuito. En la mayoría de los casos, incluido el nuestro, no es necesario utilizarla.

4.2. Costo del conductímetro

Para realizar el **conductímetro** se necesitan los materiales listados en el anexo I en la **Tabla 1**. Como puede observarse el costo final es menor a \$36 (US\$12). Teniendo en cuenta que interruptores se utilicen en S1 y S2 y si se utilizan ambos interruptores, el costo puede reducirse. La compra en forma mayorista o grupal puede reducir también el costo final. Se debe tener en cuenta que los componentes electrónicos muchas veces se venden de a 50 o 100 unidades, como es el caso de resistores, diodos y condensadores.

Si se observa la lista de componentes podrá observarse que hay dos opciones con los interruptores. Debe seleccionarse una u otra teniendo en cuenta el montaje final del instrumento. La opción B es de menor tamaño y más fácil de instalar en la caja, pero es más costosa y, con el uso, algunos de los interruptores presentaron fallas.

4.3. Observaciones sobre el ajuste de temperatura automático

Este es un punto que deliberadamente hemos dejado afuera de este circuito para no complicar la realización de la celda o el mismo. Los **conductímetros** comerciales toman tres posiciones con respecto a este tema.

1. No ajustan la **conductividad** en función de la temperatura
2. La ajustan asumiendo una variación del 2% por grado de diferencia.
3. Permiten que el usuario ajuste la curva de variación.

La primera opción es la que hemos asumido nosotros, pero implica que el acuarista deberá tener que anotar el valor de la **conductividad** medido y la temperatura del líquido cuando utiliza este instrumento en campo. Si se conoce la manera en la que el líquido medido varía su **conductividad** con la temperatura o decide utilizar el promedio del 2% por grado, entonces simplemente puede ajustar manualmente a posteriori el valor medido en campo. Para su uso en acuarios puede obviarse el error que se comete por no tener en cuenta la temperatura, ya que habitualmente la temperatura del acuario será muy cercana a los 25°C y se mantiene razonablemente estable en el tiempo.

5. Ajuste del conductímetro

Si realizamos todos los pasos correctamente el **conductímetro** debe funcionar sin inconvenientes ya que no existen puntos críticos en el circuito. No encontramos problemas en el armado de los prototipos. Es fundamental el ajuste previo y en orden para garantizar el buen funcionamiento y la confiabilidad de la medición.

Antes de utilizarlo debe ajustarse el **conductímetro** para que indique “cero” estando la celda seca. Para ello se girará P2 en el sentido especificado en el instructivo de montaje hasta obtener un valor igual a cero.

Luego de ajustar el cero del equipo, se sumerge la celda con una **solución** patrón y se ajusta P1 para mostrar el valor indicado. Se enjuaga la celda con **agua destilada** dos o tres veces hasta observar que la medición del **agua destilada** es apropiada a la calidad utilizada. Las de laboratorio deberían tener una **conductividad** menor a los 2 µS.

Por lo observado en los prototipos no hay corrosión en el tiempo o daño observable en los electrodos de medición que obligue a recalibrar por este motivo, pero si es importante hacerlo cuando se midan frecuentemente líquidos corrosivos o se almacene por períodos prolongados el electrodo mal lavado o humedo. De todas maneras recomendamos como práctica apropiada recalibrar una vez por bimestre o cada 50-100 mediciones realizadas. De todas maneras, con las calibraciones sucesivas el aficionado determinará la frecuencia de la misma en función de sus necesidades y respuesta de su **conductímetro** en particular.

6. Verificación de los prototipos

Cabe aclarar que los circuitos fueron verificados utilizando el **multímetro** seleccionado en la segunda parte. Cualquier error introducido por el **multímetro** repercutirá en nuestras mediciones. El aficionado no necesita hacer estas verificaciones, nosotros las realizamos para validar el diseño propuesto y demostrar la incerteza del resultado. Verificamos el circuito con dos procedimientos distintos.

El primer procedimiento es verificar la linealidad del circuito propiamente dicho, independientemente de la sonda. Para ellos medimos resistencias (de las utilizadas en electrónica) con valores conocidos. Los resultados de esa medición pueden observarse en la **Figura 2**. Si se analiza la correlación de las mediciones reales con respecto al valor esperado teórico, se puede obtener un parámetro que nos indica que tan bien se aproxima el comportamiento de los resultados a una recta. En nuestro caso, un resultado con estas características implica que el circuito se comporta en forma lineal. Los resultados indican una correlación de 0.9999955 entre el modelo teórico y la medición del **conductímetro**, lo cuál es más que suficiente para suponer que nuestro circuito se comporta en forma lineal. Si bien para el análisis del modelo se considero incertezas en las dos variables, en el gráfico de la **Figura 2** no se han graficado las mismas para simplificar su lectura a los aficionados no acostumbrados a ellas.

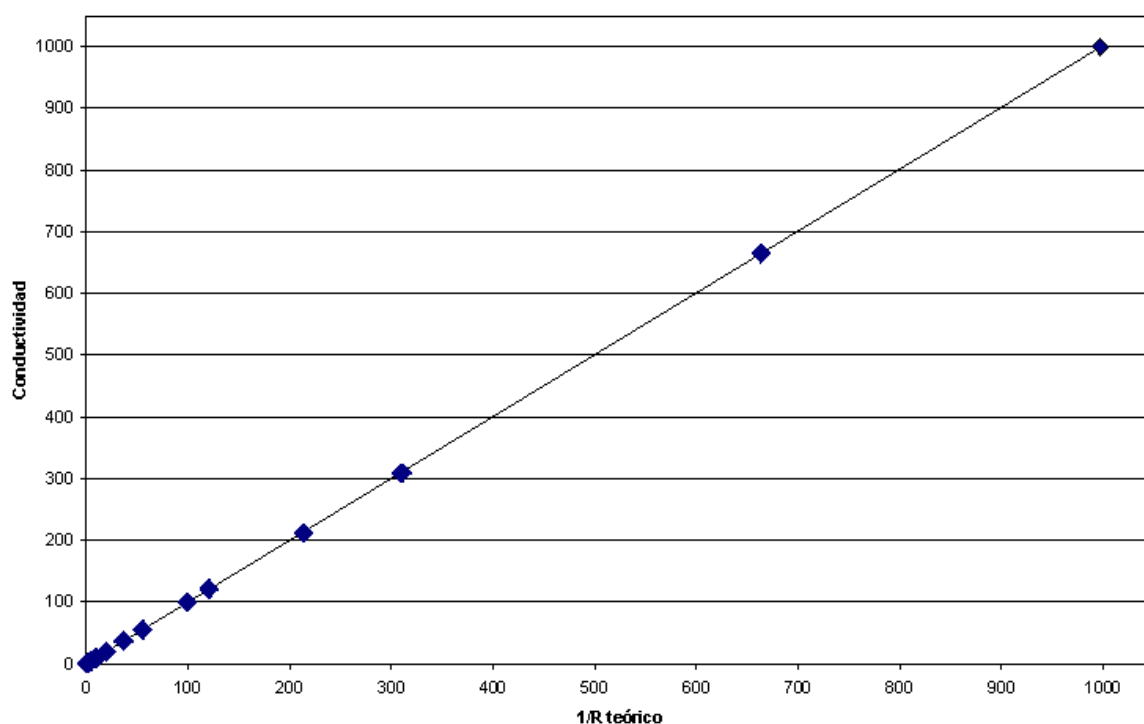


Figura 2: Gráfico mostrando los resultados obtenidos en el análisis de linealidad del circuito con respecto a resistencias conocidas. El circuito fue ajustado para que la lectura indique 1000 μS al usar una resistencia 1K Ω .

Para el segundo criterio, instalamos la sonda y probamos con líquidos reales. Tomamos como referencia de medición un **conductímetro** de laboratorio marca Oakton[®], modelo Portable pH/CON 10, y los resultados los referiremos a los obtenidos con ese **conductímetro**. El error de este instrumento es 1% como máximo según el fabricante. Realizamos dos pruebas distintas, pero en ambos casos mantuvimos la temperatura de las soluciones dentro del rango 24.5-25.5 °c. El conductímetro de laboratorio elegido posee ajuste automático de temperatura pero nuestro **conductímetro** no, razón por la cual acotamos las diferencias que podrían producirse reduciéndolas al 1% (la mitad del 2% asumido por el **conductímetro** de ajuste por grado centígrado).

En la primer prueba poseíamos **solución** patrón para calibración de 1413 μS según estándares e incertezas nominales. Ajustamos el **conductímetro** de laboratorio a esa **solución** patrón y luego ajustamos al mismo valor los dos prototipos evaluados. Los resultados mostrados en las gráficas y correlaciones son el promedio de la medición de los dos prototipos.

Luego de ajustar los tres instrumentos a ese valor, diluíamos la **solución** aproximadamente al 50% y se volvía a medir. No tuvimos especial cuidado en la dilución debido a que estamos usando el **conductímetro** de laboratorio como patrón y no la **solución** en si misma. Son los resultados de este los que tomaremos como válidos para evaluar nuestro **conductímetro**. Los resultados pueden observarse en la **Figura 3** y **Figura 4**.

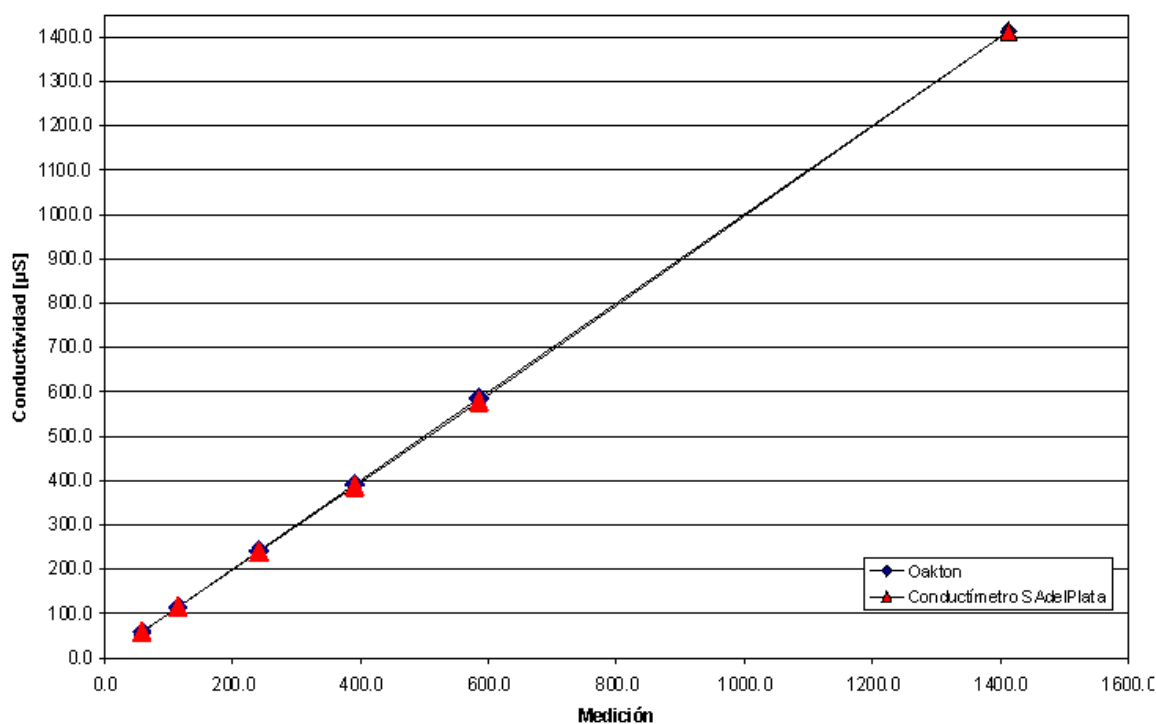


Figura 3: Gráfico mostrando los resultados obtenidos al medir una solución patrón diluida en varias proporciones distintas, comparando los resultados obtenidos del conductímetro a evaluar con uno de laboratorio de precisión conocida.

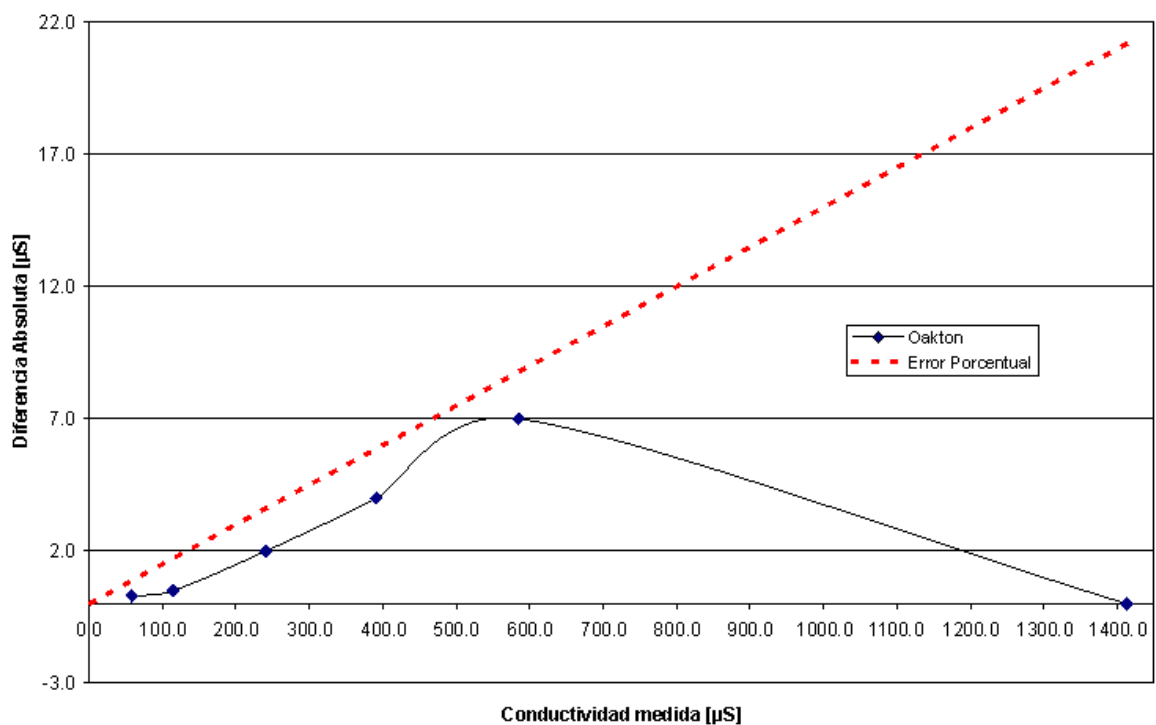


Figura 4: Gráfico mostrando las diferencias absolutas entre las mediciones del conductímetro propuesto y un conductímetro de laboratorio de precisión conocida. La zona debajo de la recta de error porcentual define un área donde el error máximo está acotado en $\pm 1.5\%$.

Es importante acotar que la correlación en este caso dio menor que la obtenida en la prueba sin sonda, pero sigue indicando aún que puede tomarse como lineal la respuesta del conductímetro. La correlación de la medición con respecto al conductímetro de laboratorio es 0.999985. Este es un resultado excelente para un instrumento tan simple como el propuesto en este artículo, si tenemos en cuenta que el conductímetro de referencia tiene un valor 80 veces mayor. Al igual que en el caso anterior, se tuvieron en cuenta las incertezas para el análisis pero no fueron incluidas en el gráfico.

Para la segunda prueba, poseíamos dos ampollas de una solución de referencia utilizada en espectrografía de llama, cuyo fabricante indica que, al disolverlo en una proporción 1:50, se obtiene una conductividad de $500\mu\text{S}$. Diluimos las ampollas según especificado pero debido a que carecíamos de instrumental preciso para garantizar la correcta dilución, la

conductividad de la solución fue de 486 μS medido con el conductímetro de laboratorio (el mismo había sido calibrado durante la primer parte). Repetimos los pasos realizados con la solución patrón y obtuvimos los resultados de [Figura 5](#) y [Figura 6](#). La correlación en este caso resulto ser 0.999997.

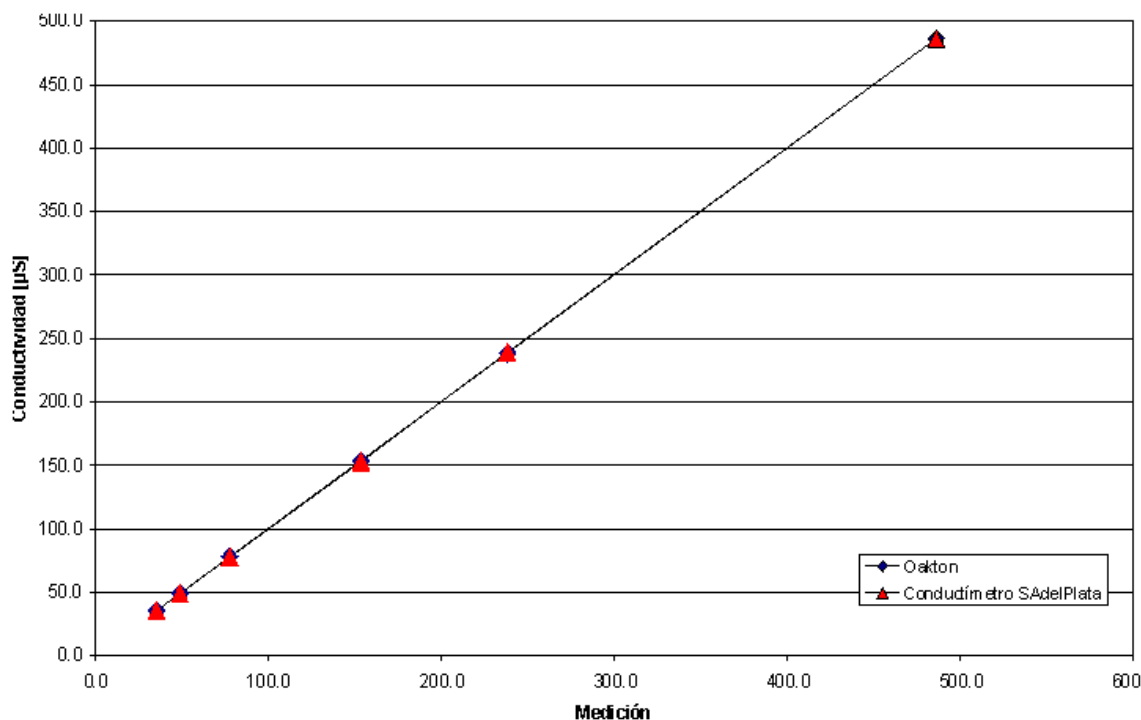


Figura 5: Gráfico mostrando los resultados obtenidos al medir una solución de conductividad medida, diluida en varias proporciones distintas, comparando los resultados obtenidos del conductímetro a evaluar con uno de laboratorio de precisión conocida.

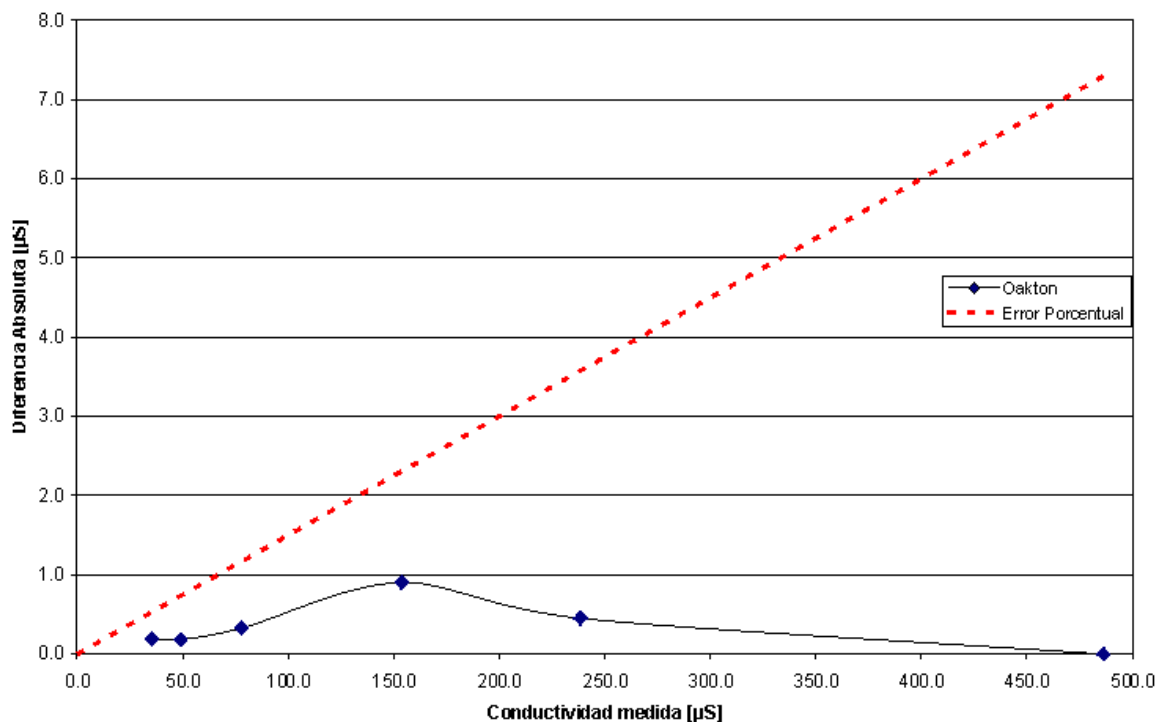


Figura 6: Gráfico mostrando las diferencias absolutas entre las mediciones del conductímetro propuesto y un conductímetro de laboratorio de precisión conocida. La zona debajo de la recta de error porcentual define un área donde el error máximo esta acotado en $\pm 1.5\%$.

Los resultados de ambos procedimientos, y el hecho que los gráficos resultantes son en todos los casos aproximado por una recta, indican que nuestro instrumento puede asumirse de comportamiento lineal y comparable a un conductímetro de laboratorio. La utilización de acero inoxidable para los electrodos ha resultado una elección acertada tal como había sido descripta en [\(Rocha et. al., 1997\)](#).

De las pruebas realizadas puede concluirse que asumir como error instrumental general un valor del 1.5% (más

las variaciones originadas por la temperatura) es una medida razonable y pesimista del error del **conductímetro** en general en las mediciones intermedias al valor de calibración. Las mediciones fueron realizadas sin cambiar la escala. En ningún caso evaluado, las diferencias entre el **conductímetro** de laboratorio y este circuito fueron mayores a este valor. Este error implica una variación máxima de $\pm 3 \mu\text{S}$ al medir agua con $200 \mu\text{S}$ de **conductividad**, por lo que se considera un error muy razonable para un acuarista. Debe tenerse en cuenta además el error de cambio de escala que debe ser evaluado por cada acuarista observando el cambio producido en su **conductímetro**, pero que no aplica esencialmente a la medición de la **conductividad** sino a la lectura de valores obtenidos en escalas distintas.

7. Conclusiones

Se ha podido construir un instrumento para medir la **conductividad**, con un error máximo estimado de $\pm 1.5\%$ con respecto a un **conductímetro** de laboratorio, precisión más que suficiente para un acuarista. El costo final de aproximadamente \$35 lo convierte en un equipo muy económico. El costo del **conductímetro** es inferior al costo de los indicadores químicos adquiridos normalmente para realizar mediciones de otros parámetros, con la ventaja que este instrumento será de larga duración. El error final en la medición es aceptable en todo el rango, tanto en forma absoluta como relativa.

Sólo es importante resaltar dos hechos que serán tenidos en cuenta en futuros desarrollos. Dotar al **conductímetro** de ajuste automático de temperatura para mejorar la comodidad de lectura en trabajo de campo (la falta de esta característica no es relevante al medir agua de acuario), y el desarrollo de un electrodo que permita la medición en forma continua para su utilización en el control permanente de acuarios en conjunto con la medición de otros parámetros.

Enlaces al resto del artículo:

[Parte II: Montaje práctico](#)

[Parte III: Construcción de la celda](#)

8. Anexo I: Listado de materiales y costos

Tabla 1: Listado de materiales y costos involucrados en la construcción del **conductímetro** en septiembre del 2006.

Item	Costo en \$	Observaciones
CELDA		
2 Tornillos inoxidable de 13 mm de largo y 2.5mm de diámetro	1.3000	
Pipeta eppendorf 2ml	0.5000	
Subtotal	1.8000	
CIRCUITO		
R1	27K Ω	0.0250
R2	100K Ω	0.0250
R3	100K Ω	0.0250
R4	100K Ω	0.0250
R5	100K Ω	0.0250
R6	100K Ω	0.0250
R7	100K Ω	0.0250
R8	100K Ω	0.0250
R9	100K Ω	0.0250
R10	1.8K Ω	0.0250
R11	18K Ω	0.0250
R12	100K Ω	0.0250
R13	100K Ω	0.0250
R14	100 Ω	0.0250
R15	100K Ω	0.0250

Item		Costo en \$	Observaciones
R16	10KΩ	0.0250	
R17	100KΩ	0.0250	
P1	100KΩ	2.7000	15 vueltas
P2	100KΩ	2.7000	15 vueltas
D1	1N5819	0.0300	
D2	1N4148	0.0300	
D3	1N4148	0.0300	
C1	100nf	0.1200	multicapa
C2	4.7nF	0.1200	multicapa
C3	100nF	0.1200	multicapa
C4	100nF	0.1200	electrolítico x 16 volt, radial, 8mm de alto máximo
U1 Amplificador operacional TL064		1.0000	
U2 Referencia de tensión de 1.2 volt		2.0000	
Placa circuito impreso virgen 50mm x 50mm		0.9000	
Conectores y cables varios		0.2500	
Multímetro utilizado en Parte II		18.3000	
Subtotal		30.6200	
Opción A			
Switch S1		1.5000	Switch doble inversor base cubica 8.5mm
Switch S2		1.5000	Switch doble inversor base cubica 8.5mm
Total A		33.6200	
Opción B			
Switch S1		2.6000	Switch doble inversor base cubica 6mm
Switch S2		2.6000	Switch doble inversor base cubica 6mm
Total B		35.8200	

9. Bibliografía

1. Carter B. - A Single-Supply Op-Amp Circuit Collection - Texas Instrument Application Report SLOA058- November 2000
2. EC/TDS/PPM Meter On Limited Budget [\[Para más información....\]](#)
3. Elektor Electronics - Conductance tester with DIY sensor – January 1999 - Pág 30
4. F. Calderón Sáenz - Como Construir un Conductímetro [\[Para más información....\]](#)
5. Hojas de datos del TL064 - SGS Thompson
6. Hojas de datos del TL084 - SGS Thompson
7. Horowitz P, Windfield H. - The Art of Electronics - Second Edition - Cambridge Press
8. Kitchin C.- Demystifying single-supply op-amp design - Analog Devices - EDN - March 21, 2002 [\[Para más información....\]](#)
9. Low Cost Conductometer [\[Para más información....\]](#)
10. N. Lanza, G. Mielnik y A. Segura - Calibración de un Conductímetro [\[Para más información....\]](#)
11. Op Amp Circuit Collection - National Semiconductor Application Note 31 February 1978
12. R. Rocha, I. Gutz and C. Lago - A Low-Cost and High-Performance Conductivity Meter - Journal of Chemical Education • Vol. 74 No. 5 May 1997
13. Traynham P. and Garcia J. - Overcoming Common Mode Range Issues When Using Intersil Integrating Converters - Intersil Application Note August 30, 2006 AN9609.3

10. Glosario

Agua destilada: Agua sometida a un proceso de evaporación y recondensación. Este proceso produce un agua

muy pura ya que todo sólido disuelto queda retenido en el primer paso.

Conductímetro: Es un instrumento que permite la medición de la conductividad de un líquido. También son llamados ocasionalmente conductivímetros. [Para más información sobre este término...](#)

Conductividad: Capacidad de conducir la corriente eléctrica por los iones presentes en una solución. El agua pura es mala conductora de la electricidad, debido a que su capacidad de ionizarse es muy limitada. Cuantos más iones se encuentren presentes en el agua mayor será su conductividad. [Para más información sobre este término...](#)

Multímetro: Es un instrumento que permite la medición de varias magnitudes eléctricas en una misma unidad. Habitualmente permiten medir resistencia, voltaje y corriente. También son llamados vulgarmente polímetros o tester, dependiendo el modismo del país.

pH: Forma de expresar la acidez, o sea la concentración de H_3O^+ . En química se define el operador matemático “p” como “logaritmo de la inversa de”, en este caso aplicado a H_3O^+ . Al ser una escala logarítmica el cambio de una unidad de pH equivale a un cambio de 10 unidades en la acidez. En la escala de pH neutro es 7, ácido valores menores a 7 y alcalino o básico valores mayores a 7. [Para más información sobre este término...](#)

Solución: Acción y efecto de resolver una duda o dificultad. En química dicese de la mezcla homogénea de dos o más sustancias. Suele llamarse *soluta* al que esta en menor proporción y *solvente* al que esta en mayor, pero no siempre es así. El agua del acuario es una solución de numerosos solutos, siendo el agua el solvente.