

# Midiendo el comportamiento del agua como resistencia eléctrica

¿Cómo afecta la temperatura y la salinidad a la resistencia del agua?

Evaluación Interna Química NM

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Conocimientos previos . . . . .	1
1.1.1. Resistividad . . . . .	1
1.1.2. Electrólisis del agua . . . . .	1
<b>2. Procedimiento experimental</b>	<b>2</b>
2.1. Variables de estudio . . . . .	2
2.2. Diseño experimental . . . . .	2
2.3. Prueba 1: Resistividad en líquidos . . . . .	3
2.3.1. Montaje experimental . . . . .	3
2.3.2. Herramientas y reactivos . . . . .	4
2.3.3. Procedimiento experimental . . . . .	4
2.4. Prueba 2: Temperatura variable . . . . .	5
2.4.1. Montaje experimental y herramientas . . . . .	5
2.4.2. Procedimiento experimental . . . . .	5
2.5. Prueba 3: Control . . . . .	6
<b>3. Resultados y Análisis</b>	<b>6</b>
3.0.1. Cálculo de incertidumbre de medición . . . . .	6
3.1. Prueba 1 . . . . .	7
3.2. Prueba 2 . . . . .	10
3.3. Prueba 3 . . . . .	10
<b>4. Discusiones</b>	<b>12</b>
<b>5. Conclusiones</b>	<b>12</b>
<b>6. Referencias</b>	<b>13</b>

# 1. Introducción

Es conocimiento general que uno no debería usar una tostadora mientras se ducha. Se dice que el agua conduciría la electricidad y provocaría graves problemas para el humano duchándose. No obstante, tras comprender el significado de ser *conductor eléctrico* uno llega a la conclusión de que el agua, al menos en estado puro, no puede ser un buen conductor eléctrico, puesto que  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7}$  M, lo que es una concentración demasiado leve. En el laboratorio de mi instituto el agua pura que se usa para los experimentos tiene la etiqueta de *agua desionizada*. Esto no significa que esa agua tenga producto iónico 0, sino que no tiene iones ajenos que no sean hidronios o hidroxilos. La resistividad del agua desionizada tiene un valor de  $182 \text{ K}\Omega\cdot\text{m}$  (para una referencia, el cobre tiene una resistividad de  $17.1 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$ ) [1] [2]. La respuesta a esta incógnita es que, en realidad, uno no se ducha con agua pura. Resulta que el agua del grifo tiene en realidad una resistividad de  $12 - 200 \Omega\cdot\text{m}$ , y por lo tanto esta sí que puede conducir la electricidad de manera más efectiva [3].

Si bien llevo un tiempo teniendo esta duda, sí que personalmente, aun teniendo una solución teórica, considero que es una respuesta demasiado vaga, la cual requiere de una investigación pertinente. Tras esta duda mental de la peligrosidad del agua se llega a la conclusión de que la cantidad de iones afecta a la resistividad del agua, no obstante, estos valores de la resistividad dados parecen un tanto aleatorios. En clase de física se ha mencionado que la temperatura también afecta a la resistividad. Es por eso que para esta interna se decide investigar cómo afecta la temperatura y la concentración de una determinada sal a la resistividad de una disolución acuosa.

## 1.1. Conocimientos previos

### 1.1.1. Resistividad

Las unidades  $V$ ,  $A$  y  $\Omega$  son muy comunes en entornos relacionados con la electricidad. No obstante, las unidades usadas en el ejemplo anterior son  $\Omega\cdot\text{m}$ . Esto es porque la magnitud no es resistencia, sino resistividad. La resistividad es una magnitud muy útil cuando se trabaja con cables eléctricos, puesto que se tiene en cuenta la longitud y la sección, y de esta manera, unos cables de un mismo material tendrán siempre la misma resistividad. Más concretamente, se define resistividad como

$$\rho = R \frac{A}{s} \quad (1)$$

donde  $\rho$  es la resistividad,  $R$  la resistencia,  $A$  la sección de un cable (normalmente circular) y  $s$  su longitud. Lo importante del concepto de la resistividad es que estas unidades se *cancelan* entre sí, dando un valor constante.

### 1.1.2. Electrólisis del agua

El agua se puede usar como una resistencia eléctrica de la misma manera que puede una resistencia convencional de cuproníquel. La cualidad que los diferencia es que en el agua ocurre una electrólisis mientras se transfieren los electrones. En la electrólisis ocurre una reacción redox, de oxidación y reducción. Concretamente, la corriente eléctrica actúa como bomba de electrones, haciendo que los iones presentes en la solución se muevan hacia los electrodos y experimenten una ganancia o pérdida de electrones, lo que lleva a la producción de productos oxidados y reducidos en los electrodos respectivos. En el caso del agua, en el cátodo se desprende  $\text{H}_2$  gas, y se produce  $\text{O}_2$  en el ánodo. No obstante, si bien los productos siempre son los mismos, durante la reasignación de electrones ocurre también una reubicación de átomos de los electrodos (iones). Particularmente, del cátodo al ánodo. Eso significa que por ejemplo si se tiene un cátodo de Sn y un ánodo de Cu, átomos de Sn

se empezarán a depositar en la placa de Cu (siempre que se cuente con una diferencia de potencial mínima necesaria).

## 2. Procedimiento experimental

### 2.1. Variables de estudio

En la introducción se ha mencionado que se quiere conseguir una función que indique la resistividad eléctrica en base a una temperatura y una concentración. Matemáticamente se puede expresar como

$$\rho([\text{NaOH}], T)$$

Por lo tanto, se deberá poder medir  $\rho$ ,  $[\text{NaOH}]$  y  $T$ . Por suerte, medir las dos últimas propiedades es una tarea prácticamente trivial mediante las herramientas adecuadas. Sin embargo, la resistividad  $\rho$  es un tanto más compleja. Se sabe por la ecuación 1 que la resistividad depende la resistencia eléctrica, la sección transversal del cable y su longitud. El primer problema con esta definición es que no existe un *cable* de solución (ver figura 1), puesto que dos placas de cobre paralelas están sumergidas en la disolución. Esto en realidad es un problema considerable, puesto que, si en la introducción se han dado datos de resistividad de diferentes soluciones tiene que haber una manera análoga para conseguir la magnitud. Se tiene que encontrar experimentalmente la fórmula de resistividad para líquidos. Al fin y al cabo, la resistividad es una propiedad física del líquido y por lo tanto debe ser constante para una misma sustancia. Como hipótesis se tiene que  $\rho$  debe depender de  $R$ ,  $s$ ,  $r_1$  y  $r_2$  donde  $r_1$  y  $r_2$  son la distancia sumergida de los electrodos.

Así pues se tendrán en cuenta 6 variables:  $[\text{NaOH}]$ ,  $T$ ,  $R$ ,  $s$ ,  $r_1$  y  $r_2$ . A priori podría parecer que nuestra función es ahora  $\rho([\text{NaOH}], T, R, s, r_1, r_2)$ , y en cierto modo es así. No obstante, se puede simplificar, ya que por ejemplo, si pudiésemos visualizar la función en un gráfico de 7 ejes, veríamos que en 4 de ellos surge un patrón, de por ejemplo, proporcionalidad. Esta proporcionalidad podría ser expresada en un solo valor, y por lo tanto omitir las 4 variables (y ejes) extras. Esto es lo que ocurre. Las variables añadidas para calcular  $\rho$  no hacen depender a  $\rho$ . Mas bien se cancelan unas con otras. Por ejemplo, si se quisiese hacer un gráfico entre la cantidad de moles de soluto, el volumen de una solución y su molaridad, se vería una proporcionalidad, puesto que  $M = \frac{n}{V}$ .

Así pues, con diferentes pruebas se medirán diferentes variables, pero todo culminará a la función  $\rho([\text{NaOH}], T)$ .

### 2.2. Diseño experimental

En total se realizarán 3 pruebas distintas con diferentes variables dependientes e independientes para poder completar la función  $\rho$ .

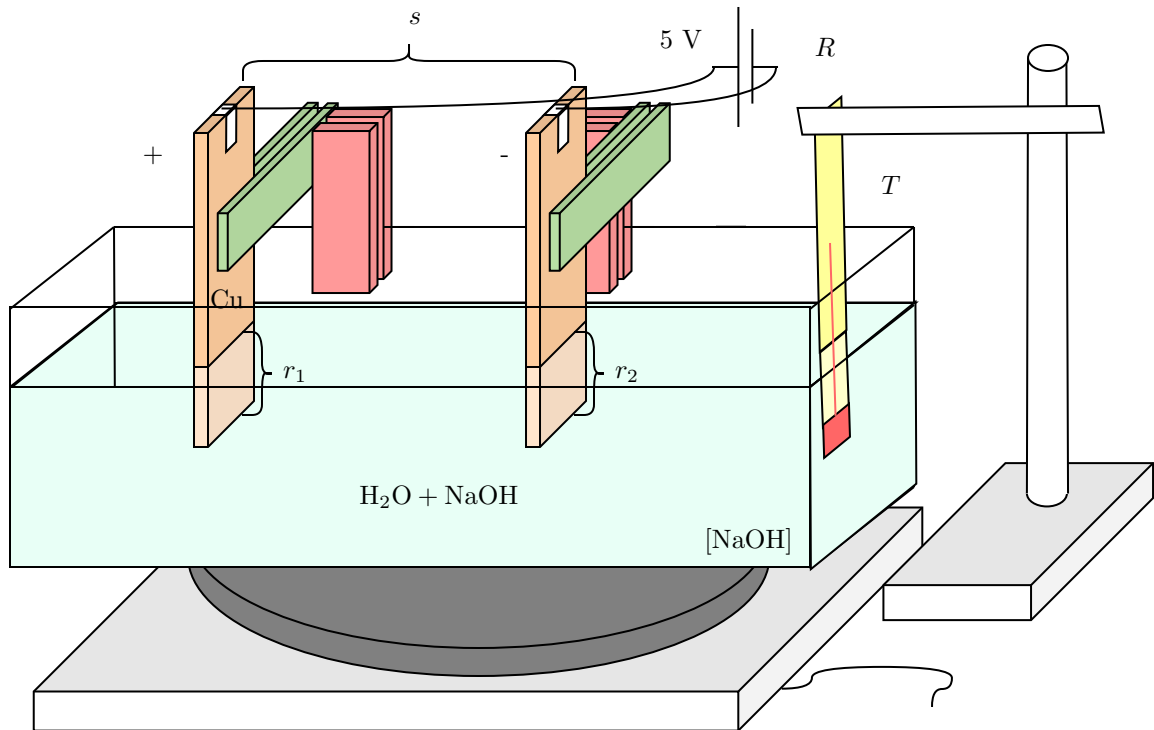


Figura 1: Montaje general del experimento

Si bien en cada prueba se modificará una variable concreta, el montaje general será el mismo, el expuesto en la figura 1

### 2.3. Prueba 1: Resistividad en líquidos

Esta prueba tratará de determinar una fórmula equivalente a la resistividad para un líquido sabiendo la resistencia, la distancia entre placas y el área de cada placa sumergida.

#### 2.3.1. Montaje experimental

El montaje debe permitir tomar como variables independientes  $s$ , la separación entre los electrodos, y  $r_1$  y  $r_2$ , la distancia de cada electrodo sumergido.

Como en este caso la temperatura no es necesaria, de la figura 1 no se usará el termómetro ni la placa calefactora. Las placas de cobre están sujetas a un *tupper* de cristal mediante dos pinzas de tender la ropa enganchadas con pegamento y cinta adhesiva para formar el ángulo de  $90^\circ$ . De esta manera, la pinza firme al *tupper* puede moverse, cambiando  $s$ , y paralelamente cada pinza horizontal de cada electrodo puede también destensarse para modificar  $r_1$  y  $r_2$ .



Figura 2: Montaje del experimento 1

### 2.3.2. Herramientas y reactivos

Para conseguir el resultado de la figura 2 se han empleado los siguientes materiales:

#### ■ Herramientas

- 4 pinzas
- cinta adhesiva
- fuente de corriente directa a 5 V ( $\pm 0.1$  V) con amperímetro con precisión  $\pm 0.01$  A
- recipiente de  $18 \times 13.2 \times 7$  ( $\pm 0.1$ ) cm
- probeta de 250 mL  $\pm 1$  mL
- probeta de 100 mL  $\pm 1$  mL
- espátula
- vaso de precipitados de 250 ml
- embudo

#### ■ Reactivos

- 100 mL NaOH 2 M (ac)
- 1 L H<sub>2</sub>O (l)
- 2 placas de cobre de  $1.4 \times 9.6$  cm

**Nota:** el NaOH es un compuesto dentro del grupo GHS05, implica corrosividad, provoca quemaduras a la piel y en los ojos.

### 2.3.3. Procedimiento experimental

Primero es necesario medir 1L de H<sub>2</sub>O desionizada. Como la probeta tiene una capacidad máxima de 250 mL, se deberá medir 4 veces. Luego se colocará el volumen medido en el tupper. El error de medida será pues,  $\pm 4$  mL. Posteriormente se debe añadir 100 mL de NaOH, que se deberá haber medido en otra probeta, esta con error de  $\pm 1$  mL. Es posible que, por el tamaño reducido de la probeta se tenga que usar adicionalmente un embudo. Se parte de que se tiene en un vaso de precipitados de capacidad 250 más de 100 mL de NaOH 2M. Si se negligie la varianza de volumen al

cambiar de molaridad, se tendrá en el tupper 1.1 L de NaOH a 0.18 M. Se recomienda disolver la solución con una espátula.

Con las pinzas pegadas a 90 ° simplemente hay que colocar las placas de cobre paralelas para que una superficie quede sumergida. Conectar los cables de la fuente eléctrica a cada electrodo.

## 2.4. Prueba 2: Temperatura variable

En esta prueba se querrá tomar como variable independiente la temperatura. Es por eso que en este caso sí que se necesitará usar la placa calefactora y el termómetro.

### 2.4.1. Montaje experimental y herramientas

Este montaje es muy parecido al anterior en la sección 2.3.1. Las herramientas y reactivos son los mismos, pero se necesita también una placa calefactora y un termómetro en un soporte.

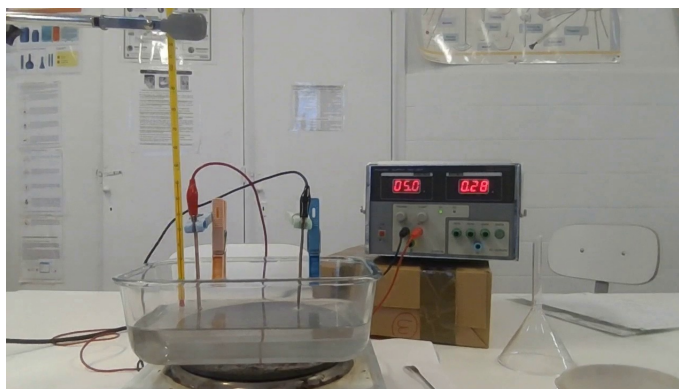


Figura 3: Montaje del experimento 2

### 2.4.2. Procedimiento experimental

Tras el procedimiento experimental descrito en el apartado 2.3.3 se deberá colocar el tupper encima de la placa calefactora. Cabe resaltar que para esta prueba se ha realizado 3 veces con molaridades distintas. Esto significa que la proporción de los reactivos iniciales ( $H_2O$  y NaOH 2 M) varían en volumen, pero el procedimiento es el mismo. Concretamente con molaridades 0.1M, 0.2M y 0.5M, que partiendo con una base de 190 mL de  $H_2O$  correspondería a 10 mL, 21 mL y 63 mL. Se puede calcular mediante la fórmula

$$\mu = \frac{2V_{NaOH}}{0.19 + V_{NaOH}}$$
$$\Rightarrow V_{NaOH} = \frac{0.19\mu}{2 - \mu}$$

donde  $\mu$  es la molaridad deseada. El error de  $\mu$  es  $\pm 0.0115$  M,  $\pm 0.0123$  M,  $\pm 0.0138$  M respectivamente (siguiendo la fórmula 2). Se negligirá el error de la molaridad en los resultados experimentales.

Tras colocar el termómetro dentro de la solución mediante un soporte, se enciende la placa calefactora. La figura 3 muestra el montaje empleado. Deduciblemente, la temperatura aumentará, y con ella, la intensidad de la fuente de corriente.

## 2.5. Prueba 3: Control

Debido a la formación de un producto extra en la electrólisis (el cual se expondrá más adelante) ha sido necesario realizar una prueba de control. Donde ninguna variable independiente se modificaba. Ninguna excepto el tiempo. Si bien es cierto que en este tipo de reacciones el tiempo no debería afectar, técnicamente se puede considerar como variable independiente. Lo esperable de esta prueba es que, a temperatura y concentración de NaOH constantes, la resistividad  $\rho$  no cambie. Los materiales y reactivos son exactamente los mismos que en la prueba 2 (apartado 2.4.1). Si bien ese experimento está diseñado para aumentar la temperatura, en realidad se puede utilizar para tener una temperatura constante. Una de las maneras es directamente tener la placa calefactora apagada. Si no transfiere energía térmica a la solución, entonces esta no puede aumentar su temperatura y será constante. En realidad se puede conseguir una temperatura constante con cualquier potencia suministrada por la placa. Si la potencia suministrada es igual a la potencia disipada por la solución, entonces la temperatura será constante. Concretamente, al modo más bajo de la placa calefactora usada, se ha podido mantener una solución determinada a una temperatura constante de 38 °C. Entonces, tras proseguir con el método del experimento 2, el último paso es establecer una potencia térmica suministrada relativamente baja.

Es importante mencionar que en esta prueba sobre todo, y en las dos anteriores, el producto resultante de la electrólisis contiene  $CuO$ . Se categoriza según *GHS* como *H400* y *H410*, lo que implica toxicidad severa para la vida acuática a corto y largo plazo. Es necesario pues, una disposición efectiva según especificaciones regionales. [4]

## 3. Resultados y Análisis

Para la recogida de datos se ha usado un programa informático propio en algunos casos. Con un ordenador se ha grabado cada experimento y se han obtenido los datos mediante procesamiento digital de imágenes, es por eso que algunas figuras presentarán una cantidad importante de puntos.

### 3.0.1. Cálculo de incertidumbre de medición

Si bien para las magnitudes de medición directas como la temperatura o la distancia tienen un error absoluto constante especificado (el cual se puede representar directamente en las figuras), para el cálculo de magnitudes derivadas, como la resistencia o la molaridad, se debe partir de la incertidumbre de las magnitudes de las cuales derivan.

Sea  $\varepsilon_a(A)$  y  $\varepsilon_r(A)$  el error absoluto y relativo de la medición  $A$ , se calcula el error absoluto de la resistencia  $R$ .

$$R = \frac{V}{I}$$
$$\varepsilon_a(V) = 0.1V \rightarrow \varepsilon_r(V) = \frac{\varepsilon_a(V)}{V}$$
$$\varepsilon_a(I) = 0.01A \rightarrow \varepsilon_r(I) = \frac{\varepsilon_a(I)}{I}$$
$$\varepsilon_r(R) = \varepsilon_r(V) + \varepsilon_r(I) \rightarrow \varepsilon_a(R) = R\varepsilon_r(R)$$

De la misma manera se puede encontrar que

$$\varepsilon_a(\mu) = \mu \cdot \left( \varepsilon_r(V_{NaOH}) + \frac{\varepsilon_a(V_{H_2O}) + \varepsilon_a(V_{NaOH})}{V_{H_2O} + V_{NaOH}} \right) \quad (2)$$



### 3.1. Prueba 1

Uno puede intuir que la fórmula de la resistividad puede funcionar con líquidos. Esto significaría que el área sumergida sería inversamente proporcional a la resistencia. No obstante, es difícil encontrar esa área porque, si bien cada electrodo tiene una de sumergida, esta no necesariamente es la misma. Una sub-hipótesis de esta prueba 1 es que, la resistencia será proporcional al área sumergida mínima de cualquier de los dos electrodos. Esto implicaría por ejemplo, que si  $r_2 > r_1$ , independientemente del tamaño de  $r_2$   $R$  permanecería constante. Esta hipótesis queda claramente descartada tras la no invarianza de la figura 4.

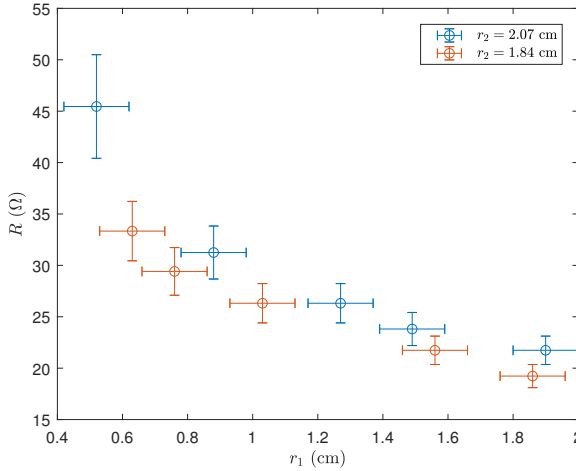


Figura 4:  $R$  respecto  $r_1$  para una misma concentración a diferentes  $r_2$

grafica en un eje  $(r_1 + r_2)^{-1}$  y en otro  $R$ , se debería observar una proporcionalidad directa. Una línea recta (fig. 5).

Si bien la línea de regresión cruza el eje vertical con  $R = 0.76 \Omega$ , se considera un error despreciable, y por lo tanto, se define que la resistencia de un líquido es inversamente proporcional a la media de las áreas sumergidas de los electrodos. Una característica parecida a lo que pasa con un cable conductor.

Ciertamente  $r_1$  y  $r_2$  son distancias, y no áreas. No obstante, como el área es proporcional a la distancia, porque las 2 placas tienen una amplitud de 1.4 cm, entonces, como se quiere encontrar la relación, y no medidas exactas, se puede usar directamente la distancia. Es por esta misma razón que no es necesario especificar la temperatura o la concentración, porque, si siempre son constantes, no afectarán a la forma del gráfico. Cabe destacar que si bien la incertidumbre de las distancias es constante ( $\pm 0.1$  cm), las de  $R$  varían puesto que  $R$  se calcula con la intensidad y el voltaje, que tienen una incertidumbre absoluta constante, lo que implica una varianza de la relativa.

Otra hipótesis puede ser que el área empleada en la fórmula debe ser la media de las dos áreas. Esto implicaría que  $R$  sería inversamente proporcional a  $\frac{r_1+r_2}{2}$  y por lo tanto, también a simplemente  $r_1 + r_2$ . Siguiendo este modelo, si se

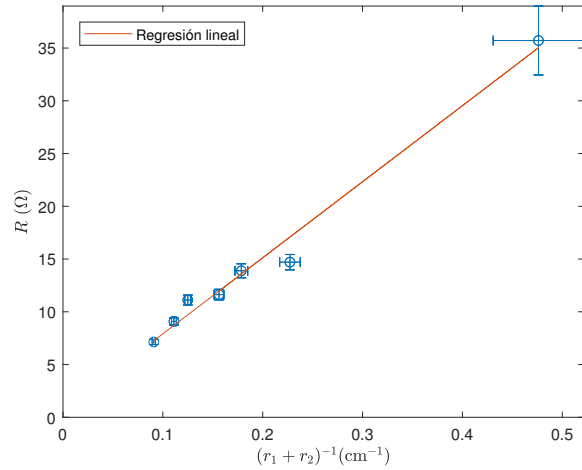


Figura 5: Proporcionalidad inversa entre la resistencia y el área sumergida

Según la fórmula de la resistividad,  $R$  y  $s$  son directamente proporcionales, lo que implica que para un gráfico donde se muestra  $R$  con  $s$ , debería observarse una línea recta. Sin embargo, según la figura 6a esto no sucede.

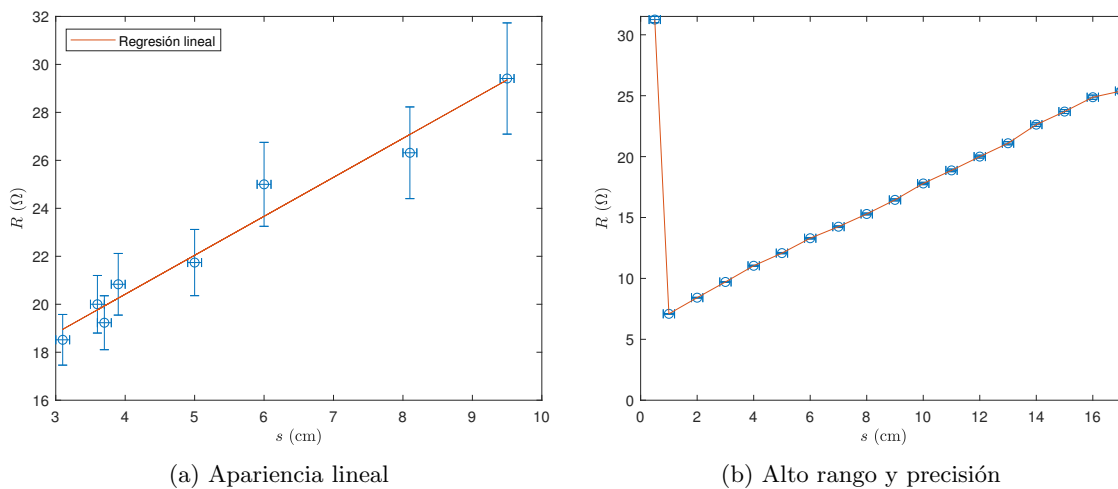
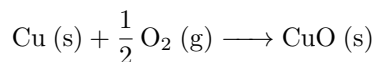
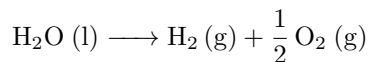


Figura 6: Relación entre la resistencia y la distancia entre placas

El gráfico 6a aparenta una línea recta, pero en realidad esta regresión cruza  $s = 0$  para  $R = 13.9 \Omega$  y esto no es despreciable. Se ha hecho otra prueba con una fuente más precisa y con incertidumbre más pequeña. Lo primero en que uno se da cuenta al ver el gráfico 6b es el elevado valor para  $s = 1$  cm. Para explicar este comportamiento hay dos posibles razones. En ningún momento de esta interna se ha mencionado exactamente la reacción que ocurre en la electrólisis. Es cierto que se ha descrito que se forman  $H_2$  y  $O_2$  en los electrodos, pero en realidad hay otra reacción que tiene lugar.



En la introducción se ha utilizado expresamente la frase *se produce  $O_2$* , puesto que este, reacciona con el cobre formando óxido de cobre (II), que torna la disolución negra. La primera explicación a la extrañez de  $s = 1$  cm es que a esa distancia, debido a que se forma  $CuO$ , las propiedades resistivas de la disolución en ese punto varían, y por lo tanto, varía también la resistencia. En cierto modo la presencia de  $CuO$  varía la conductividad de toda la disolución (este comportamiento se expone en el apartado 3.3). Otra posibilidad no viene de la disolución sino de la fuente de alimentación. Si las placas están juntas, entonces la resistencia debe ser  $0 \Omega$ . No obstante, eso implicaría una corriente infinita. Este tipo de fuentes tienen un limitador de corriente, que, cuando hay un cortocircuito y la diferencia de potencial disminuye, la corriente solo aumenta hasta un máximo para no estropearse. Cabe la posibilidad de que 1 cm corresponda a una resistencia demasiado baja y se considere un cortocircuito.

Para poder encontrar la explicación se hace otro experimento igual al anterior pero con, además, una resistencia de  $12 \Omega$  conectada en serie. De esta manera, si las placas están suficientemente juntas, no sucederá un cortocircuito porque la energía se disipará por esa resistencia en serie.

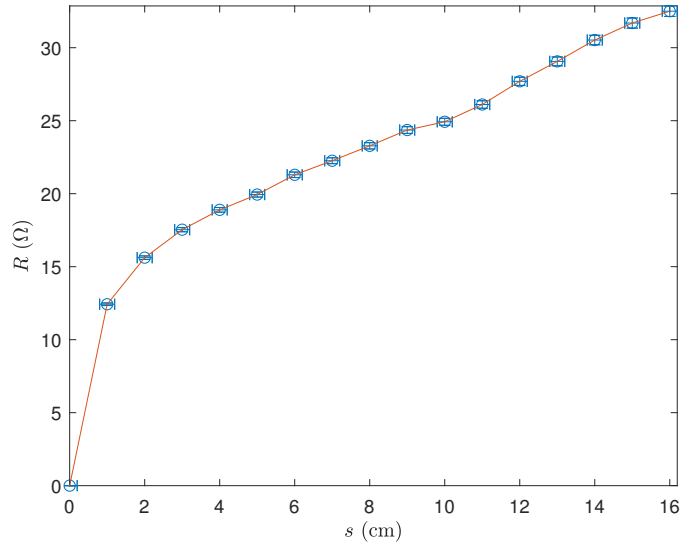


Figura 7: Relación entre la resistencia y la distancia entre placas con resistencia en serie

La figura 7 contiene la resistencia propia de la disolución, que equivale a calcular la resistencia total mediante la intensidad de la fuente, y restarle el valor de la resistencia en serie. Se puede observar como el comportamiento de  $s = 1$  y  $s = 0$  se acercan más a una forma razonable. Por el resultado de esta figura se concluye que el problema viene de la disolución y no de la disolución. Una manera de entender por qué  $R(s)$  no sigue una tendencia proporcional es porque los electrones en el medio líquido tienen más espacio transversal para moverse, y por lo tanto tienen menos resistencia respecto a un cable eléctrico (fig. 8).

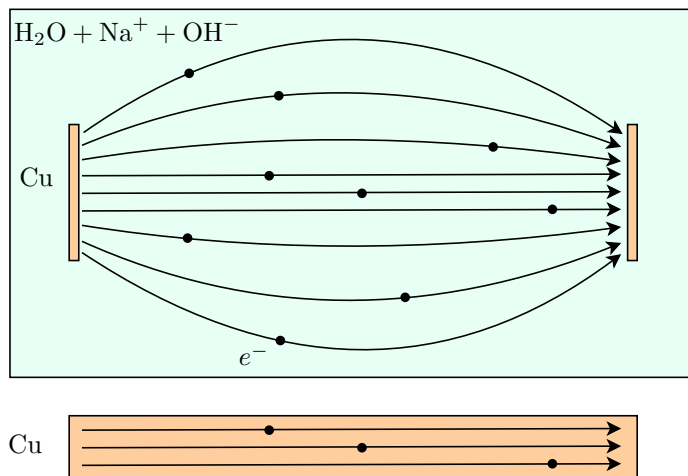


Figura 8: Diferencia de resistencia entre la electrólisis y un cable

En consecuencia, se ve como la distancia  $s$  no es proporcional a  $R$ . Esto aporta un problema porque debido a ello, no se puede *cancelar*  $R$  con  $s$  y por lo tanto no se puede encontrar la resistividad. Esto implica que ahora mismo, no solo la resistividad depende de 3 variables, sino que tampoco se puede usar el concepto de resistividad, porque las unidades no cuadrarían. Como se ha visto que el área sumergida sí que es inversamente proporcional a la resistencia, se puede usar la magnitud de  $R \cdot s^2$  ( $\Omega \cdot \text{m}^2$ ). Esta magnitud se llamará resistivancia, representada con una  $\sigma$  será igual a la resistividad  $\rho$  por la distancia  $s$ . Esta propiedad sí que es constante para toda substancia en las mismas condiciones, es por esto que se puede utilizar para un análisis comparativo. Así pues, la

función a estudiar quedará como

$$\sigma([\text{NaOH}], T, s)$$

### 3.2. Prueba 2

El problema para representar la función  $\sigma$  es que esta depende de 3 variables, lo que significa 4 dimensiones en total. Sin embargo, se puede utilizar el color para representar una dimensión extra.

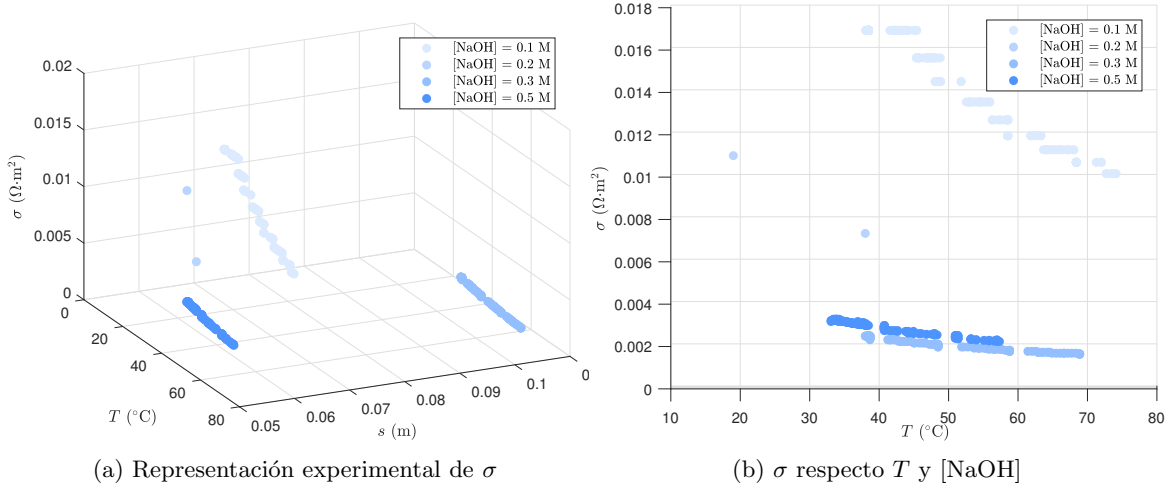


Figura 9: Representación experimental de  $\sigma$

El gráfico 9a muestra las 4 variables a la vez, no obstante, si se fijan dos dimensiones, es más fácil analizar el comportamiento del experimento. Como ya se sabe el comportamiento entre  $\sigma$  y  $s$ , (ver figura 7), se puede analizar con una perspectiva donde la diferencia de  $s$  no se aprecie (fig [pr:2:1b]). No se incluyen las barras de error porque el motor gráfico no las soporta en 3 dimensiones.

Se observa que la temperatura influye en que disminuya la resistencia. No queda claro si de manera lineal o tal vez como una hipérbola (lo que sería inversamente lineal), debido a la poca variación y precisión de  $T$ . También se observa que cuando más grande sea  $[\text{NaOH}]$  más disminuye la resistencia, y, por lo tanto, la resistencia. Es cierto que para  $[\text{NaOH}] = 0.3 \text{ M}$  este tiene una resistencia menor que  $[\text{NaOH}] = 0.5 \text{ M}$ , pero esto se debe a que estas dos tendencias no se deberían comparar ya que tienen un valor de  $s$  distinto. Si bien cada tendencia tiene un  $s$  distinto, las otras medidas tienen una diferencia de  $0.5 \text{ cm}$ , con lo cual se negligie el efecto de la distancia.

### 3.3. Prueba 3

En el apartado 3.1 se ha mencionado la formación de  $\text{CuO}$  debido al  $\text{O}_2$  producido en el ánodo. Este compuesto presente en la disolución modifica las propiedades de la disolución y por lo tanto, también su resistencia. Si bien esto implicaría una invalidación de las medidas de los experimentos, el efecto del  $\text{CuO}$  solo es notable a largo plazo y con un voltaje más elevado que el empleado en las otras pruebas (según muestra este experimento), y por lo tanto, se negligie su presencia en las pruebas 1 y 2.

Para medir la concentración de  $\text{CuO}$  se asume que todo el oxígeno del ánodo reacciona con el cobre para formarlo. Como se sabe la intensidad, se calcula de la siguiente manera:

$$I = \frac{C}{t} = \frac{e \cdot n_e}{t}$$

Donde  $e$  es la carga de un electrón. Por la reacción redox se sabe que para formar  $O_2$  se intercambian 4 electrones, y como con una molécula de  $O_2$  se forman 2 moléculas de  $CuO$ , entonces se necesita un intercambio de 2 electrones para formar una molécula de  $CuO$ .

$$I = \frac{e \cdot n_{CuO}}{2t} = \frac{e \cdot [CuO] \cdot V \cdot N_A}{2t}$$

$$\Rightarrow [CuO] = \frac{2It}{VN_A e}$$

Como la intensidad no es constante con el tiempo (puesto que la propia presencia de  $CuO$  ya la modifica), se debe aproximar discretamente, lo que significa

$$\Delta[CuO] = \frac{2I(t)\Delta t}{VN_A e}$$

$\Delta t$  corresponde al tiempo entre muestreados de  $I(t)$ , lo que en el programa equivale a 1.73 s. Así pues<sup>1</sup>

$$\Delta[CuO] = I(t) \cdot 1.79 \cdot 10^{-4}$$

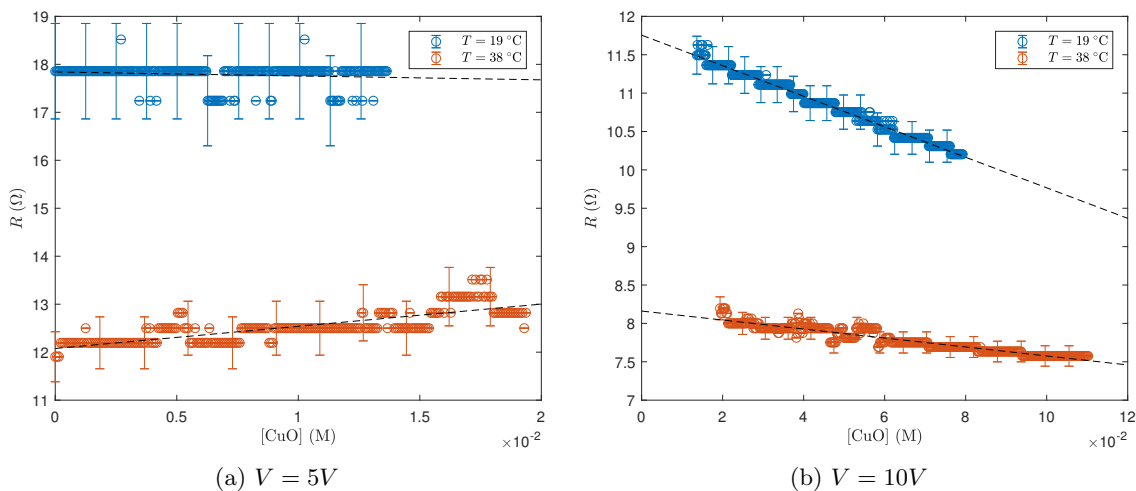


Figura 10:  $R$  respecto  $[CuO]$

Como se puede observar, la influencia del  $CuO$  es notable a partir de una concentración determinada. Cabe contrastar que se ha tardado un total de 7.8 minutos en realizar esta prueba. Por eso se negligie el  $CuO$  en las otras pruebas. La tendencia para  $T = 38^\circ C$  contiene un rango de concentraciones de  $CuO$  más extenso porque al tener más intensidad debido al incremento de temperatura, se produce  $CuO$  más rápidamente. Posteriormente se ha aumentado la diferencia de potencial a 10 V, para poder observar un cambio más pronunciado.

La toma de datos de la figura 10b duró 13 minutos. Si bien las resistencias iniciales de esta figura no coinciden con las finales de la anterior, esto se debe al comportamiento no óhmico del agua, el cual queda fuera del contenido de esta interna. En ambas figuras se puede apreciar una tendencia lineal. No obstante, en el gráfico para  $V = 5V$  y  $T = 38^\circ C$  esta parece aumentar. Como tampoco crece de manera puramente lineal, sino más bien exponencial, es posible que no se trate de la composición de la disolución en si, sino por ejemplo de un cambio de área de uno de los electrodos hasta estabilizarse.

<sup>1</sup>Siendo  $V = 0.2 L$

## 4. Discusiones

Es evidente que la naturaleza del experimento partía de la suposición de que una disolución tendría el mismo comportamiento que un cable de metal en relación a su resistividad y eso ha supuesto una complicación. Se ha demostrado que en lo que se refiere a la longitud de la resistencia que sería la disolución, esta no es directamente proporcional con la resistencia que proporciona, lo que ha implicado un análisis diferente con 4 variables a estudiar. El uso de la magnitud  $R \cdot s^2$  llamada resistivancia ha sido necesario para poder comparar los experimentos. Se ha usado un nombre inventado porque no se ha encontrado otros ejemplos donde haya surgido la misma necesidad. No obstante, este mismo proceso ha sido empleado en otras situaciones de más prestigio e importancia científica. Por ejemplo la constante de Planck  $h$  tiene unidades  $J \cdot s$ , y si bien la magnitud de energía por distancia, en otras palabras, la acumulación de energía en relación a la distancia es una magnitud un tanto incomprensible, las unidades solo indican proporcionalidad entre dos elementos, que es exactamente lo sucedido en los experimentos de esta interna.

Como ampliación a la investigación, el primer paso sería mediante un dieléctrico canalizar el contenido para que los electrones no puedan curvar su trayectoria entre electrodos. Sería importante analizar si en este caso, la longitud sí que es proporcional a la resistencia. Otra mejora en los experimentos es no tener que negligir la presencia de CuO en la disolución eliminándolo de las reacciones. De esta manera además, no se debería disponer la substancia. Esto se conseguiría mediante el uso de placas de grafito en vez de cobre para los electrodos.

Paradójicamente, aun teniendo extensos datos experimentales en algunos casos, gracias al uso del programa informático, estos no han servido para dar una forma clara a las tendencias representadas en las 4 dimensiones. Aun así, la cantidad de puntos sí que ha permitido consolidar la forma de los gráficos en las dos dimensiones donde se usaban.

## 5. Conclusiones

Irónicamente no se puede responder a la pregunta de investigación, puesto que se ha descartado el uso de la resistividad. No obstante, en unas mismas condiciones de la forma sí que se puede afirmar que la resistencia del agua disminuye con la temperatura y con la salinidad. Sin embargo, la falta de experimentos no puede dar una respuesta concluyente a cómo disminuye, con qué forma. En toda la interna se ha empleado NaOH para controlar la salinidad. Otra ampliación de este estudio podría ser el usar otro electrolito y comprobar por ejemplo, si exclusivamente es importante la cantidad de iones y no cuáles son esos iones.

## 6. Referencias

- [1] Desconocido. *Water quality*. 2016. URL: <https://web.archive.org/web/20160703171744/http://www.elgalabwater.com/water-quality-en.html>.
- [2] Editors of Encyclopaedia. *resistivity*. 2023. URL: <https://www.britannica.com/science/resistivity>.
- [3] Desconocido. *What Is The Typical Water Conductivity Range?* 2022. URL: <https://atlas-scientific.com/blog/water-conductivity-range/>.
- [4] Andrew Schauer. *Copper II oxide*. 2021. URL: <https://isolab.ess.washington.edu/SOPs/copper-ii-oxide.php>.