

Doctorando: **Abraham Mejía Aguilar**

Título de la tesis: **Sensor autónomo de conductividad eléctrica del agua para vigilancia medioambiental**

Director: Dr. **Ramon Pallàs Areny**

La medida de la conductividad eléctrica del agua del sirve para determinar si ésta es apta para el consumo humano y tiene las condiciones mínimas para sustentar flora y fauna acuáticas. Los valores límite permitidos para la conductividad del agua destinada a determinados usos están reglamentados, y los métodos para medirla están descritos en diversas normas técnicas. El método habitual basado en medir la corriente que resulta al aplicar una tensión sinusoidal entre dos electrodos inmersos en el agua requiere circuitos relativamente complejos, y por lo tanto con un consumo de energía excesivo para un sensor autónomo. Además, los electrodos se deterioran por corrosión y deposición de materia orgánica e inorgánica, las cuales cambian su impedancia y el resultado de las medidas.

En esta tesis se parte del modelo de Randles simplificado como circuito eléctrico equivalente (EEC) para describir la conductividad del electrolito y la impedancia de los electrodos de una celda electrolítica. El modelo contiene tres parámetros y su determinación permite conocer a la vez la conductividad del agua y el estado de los electrodos. Para determinarlos se propone un método de medida en el dominio del tiempo que consiste en inyectar en la celda un pulso de tensión o de corriente y medir, respectivamente, la corriente o tensión resultantes. Para determinar los tres parámetros del EEC elegido, en principio basta medir la respuesta en tres puntos y resolver el sistema de ecuaciones (exponenciales) resultante. Pero, aunque este sistema de ecuaciones se puede resolver para tres muestras cualesquiera, la complejidad de la solución puede ser elevada. Si las tres muestras son equidistantes, la complejidad disminuye, pero según el valor de los parámetros de la celda, el tiempo entre muestras y la resolución disponible en el convertidor A/D, la diferencia de amplitud entre las tres muestras adquiridas puede ser insuficiente para determinar los parámetros del EEC con una incertidumbre reducida. Una posible solución es inyectar varios pulsos de duración distinta, pero serían necesarias muchas iteraciones para determinar si el error en los valores obtenidos es pequeño, comparando éstos con los previamente calculados. Otra

posibilidad es adquirir muchas muestras de un solo pulso y elegir las tres muestras de un pulso suficientemente largo cuya diferencia de amplitud sea máxima, pero esto exige bastantes cálculos. En este trabajo se propone un muestreo selectivo basado en inferir el valor de la muestra correspondiente a  $t = 0$ , el de la muestra correspondiente a  $t \rightarrow \infty$ , que corresponde a la zona plana de la respuesta al pulso, y calcular el tiempo en el que la amplitud de la respuesta es el valor medio de estas dos muestras extremas. Esta estrategia evitar tener que calcular funciones exponenciales o logarítmicas.

Este muestreo selectivo se ha aplicado a dos métodos de medida: el primero inyectando un pulso de tensión y midiendo la corriente, y el segundo inyectando un pulso de corriente y midiendo la tensión. Al medir conductividad en el intervalo correspondiente a aguas superficiales (entre  $100 \mu\text{Scm}^{-1}$  y  $10 \text{mScm}^{-1}$ ), se obtuvieron errores inferiores al 5 % del valor de fondo de escala, de modo que se cumple la normativa internacional para conductímetros *in-situ*. Este error se reduce a menos del 0,2 % si se aplican técnicas de inyección mixta (un pulso de tensión seguido de otro de corriente) que aprovechan al máximo la resolución del ADC, y técnicas de interpolación y extrapolación de datos que, por ejemplo, evitan tener que tomar una primera muestra en  $t = 0$ , que puede ser susceptible a transitorios. Los valores obtenidos para la impedancia eléctrica de electrodos de acero inoxidable y de cobre están dentro de los intervalos obtenidos por otros autores, y su degradación al corroerlos con una oxidación acelerada (*stress corrosion cracking*) y tras una inmersión de nueve meses en el estanque del Parc Mediterrani de la Tecnologia en Castelldefels (Barcelona), conllevó variaciones muy grandes en su impedancia que fueron correctamente detectadas, lo cual confirma la posibilidad de monitorizar dicha degradación con el método de medida propuesto.