

## CONSTRUCCIÓN DE UN SENSOR DE CONDUCTIVIDAD CON TECNOLOGÍA ABIERTA

## THE CONSTRUCTION OF AN OPEN SOURCE BASED CONDUCTIVITY SENSOR

<sup>1</sup>David Loza Matovelle , <sup>2</sup>Luis J. Segura, <sup>3</sup>Xavier Segovia, <sup>4</sup>Reza Dabirian, <sup>5</sup>Edwin Haro Sangoquiza<sup>1-2-3-4</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica<sup>3</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Departamento de Ciencias de la Eléctrica y ElectrónicaE-mails: <sup>1</sup>dcloza@espe.edu.ec, <sup>2</sup>ljsegura@espe.edu.ec <sup>3</sup>xsegovia@ecuagraphic.com.ec , <sup>4</sup>dabirian@gmail.com, <sup>5</sup>erharo1espe.edu.ec*Energía Mecánica Innovación y Futuro, IV Edición 2015, No.5 (13)***RESUMEN**

Utilizando tecnología abierta y componentes de bajo costo se logró desarrollar un dispositivo capaz de medir la conductividad de muestras líquidas, el cual fue desarrollado utilizando Arduino, impresoras 3D y software libre. El dispositivo desarrollado mide la concentración total de iones libres en la solución electrolítica, utilizando un acondicionamiento de señales, en el cual se introduce una señal sinusoidal de no más de 1kHz de frecuencia y con amplitud no mayor a los 10 voltios. El dispositivo mide la cantidad de voltaje consumido por la resistencia que presenta la solución acuosa. El dispositivo mide unidades de conductividad por área, los mismos que son inversamente proporcionales a la resistividad.

El equipo puede ser aplicado en los laboratorios químicos con un costo varias veces menor que un sensor comercial. Se puede construir el equipo con el conocimiento interdisciplinario de la química, física, mecánica y electrónica a nivel de pregrado.

**Palabras Clave:** Arduino, Bajo costo, Conductividad, Sensor, Tecnología abierta.

**ABSTRACT**

By using open and low cost technology components we have developed a device capable of measuring the conductivity of liquid samples. It has been developed using Arduino, 3D printers and free software. The device measures the total concentration of free ions in the electrolytic solution, using a signal conditioning, in which a sinusoidal signal of not more than 1 kHz frequency and amplitude no greater than 10 volts is introduced. It also measures the amount of voltage consumed by the resistance of the aqueous solution and conductivity units per area which are inversely proportional to the resistivity.

The instrument can be used in chemical laboratories at a cost several times less than a commercial sensor. It can be built with interdisciplinary knowledge chemistry, physics, mechanics and

electronics at the undergraduate level.

**Keywords:** Arduino, Conductivity, Low cost, Open source technology, Sensor.

## 1. INTRODUCCIÓN

El sensor ha sido diseñado y construido con tecnología abierta. La filosofía de tecnología abierta “*open-source*” para el desarrollo de dispositivos científicos cuenta con tres componentes fundamentales para su sustento: impresoras 3D, software libre y hardware de bajo costo.

La metodología de creación de instrumentos utilizando la tecnología abierta ha crecido inmensamente en los últimos años a tal punto que en varios lugares del mundo se ha creado laboratorios de investigación científica que utilizan exclusivamente esta filosofía para sus estudios[1]; en estos laboratorios se emplea hardware libre como Arduino y Raspberry pi, así como también el software libre.

El concepto de software libre es sencillo, se considera software libre cuando un usuario que ha adquirido el producto tiene la libertad de usarlo, copiarlo, estudiarlo, modificarlo y redistribuirlo de varias formas [2]. Esta tendencia se desarrolló desde los años 80, cuando Richard Stallman formó la compañía Symbolics Inc. que intentaba reemplazar el software libre en lugar del software comercial. Para el año 1982 Stallman funda la organización Free Software Foundation (FSF) e introdujo el concepto de “copyleft”, que permite la libre distribución de copias y versiones modificadas de una obra o trabajo exigiendo que estos derechos se han preservados en las nuevas versiones [3].

La tecnología abierta se fue extendiendo hacia

la electrónica e incluso a la mecánica, de tal manera que ahora podemos encontrar de manera totalmente gratuita en internet modelos de circuitos completamente funcionales así como elementos y conjuntos mecánicos listos para ser impresos o modificados si es necesario.

En el año 2005, Massimo Banzi y David Cuartielles, empezaron el proyecto Arduino, con el objetivo de crear una placa con un microcontrolador de menor costo y de fácil aprendizaje. Ahora la placa Arduino es uno de los hardware libres más difundidos en el mundo. [4]. En el año 2008 se había empezado el proyecto Reprap [5] para la construcción de impresoras 3D totalmente libres. En la actualidad encontramos en internet más de 200 tipos de modelos de impresoras 3D capaces de ajustarse a la necesidad de cada usuario. La tecnología 3D está en un momento en donde los costos son reducidos y en pocos años se ha desarrollado a límites a donde no se imaginaba hace pocos años. El grado en que la tecnología 3D se ha desarrollado con respecto al precio y posibilidades no era imaginable hace unos pocos años.

La tecnología abierta tiene ventajas específicas en la investigación. Entre ellos, permite el desarrollo de procesos que se adapten a las necesidades de cada usuario. Los elementos utilizados en el desarrollo de este instrumento han sido seleccionados tomando en cuenta el costo de los mismos. Se ha utilizado la tecnología de impresión **3D** para construir partes estructurales a medida que se ajustan a nuestras necesidades. También, con la utilización de Arduino y de software libre para programar se ha logrado construir un dispositivo “low cost”, de características y calidad de medición similar a un dispositivo comercial, a una fracción del costo.

La conductividad de muestras líquidas como

concepto es la capacidad que tienen las sales orgánicas en solución o electrolitos, para conducir la corriente eléctrica [6]. Los sensores de conductividad se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde el tratamiento de aguas de consumo o potables hasta el control de productos biofarmacéuticos.

El agua pura prácticamente no conduce la corriente, sin embargo con sales disueltas se convierte en conductor. Esta propiedad es utilizada en varias industrias, entre ellos en el tratamiento de aguas de consumo o potables; puesto que las sales minerales deben estar presentes en ciertas cantidades para cumplir recomendaciones de sanidad. También, con el sensor se pueden medir las sales que se consumen. Por ejemplo, el zinc, el selenio y el cobre intervienen en el funcionamiento del sistema inmunológico. De tal manera que el dispositivo diseñado constituye una herramienta con utilidad para el campo biofarmacéutico.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la construcción del dispositivo se utilizó una pantalla líquida, una placa Arduino Uno y un sensor de temperatura. Los electrodos deberán tener un área (A) determinada y deberán estar separadas una longitud (l) determinada, puesto que con estos valores se calcula la constante de la celda de conductividad, según Ec. 1.

$$K = \frac{l}{A + \Delta A} \quad \text{Ec. 1}$$

El esquema de la celda de conductividad se encuentra en la figura 1.

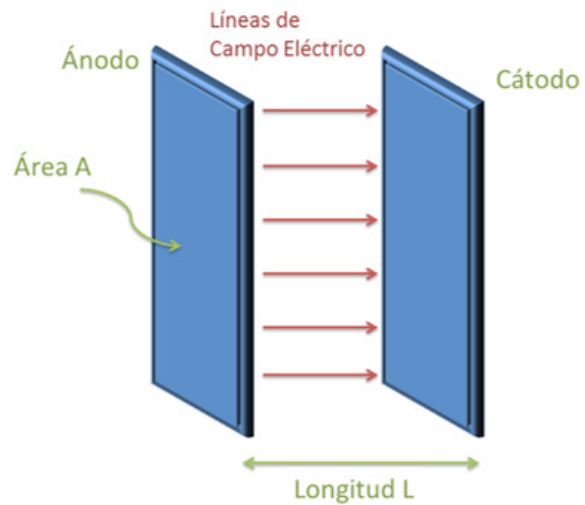


Figura 1. Celda de conductividad.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sensor se construyó utilizando dos electrodos de cobre. La conexión de los electrodos se lo realizó a un puente de Wheatstone. El puente está conectado a una fuente de corriente alterna, con una amplitud de 12 voltios y una frecuencia de 60Hz. La fuente de corriente alterna es un transformador con una relación 10:1, obteniendo 12 voltios a 60Hz. Las etapas de acondicionamiento, de rectificación y de amplificación se encuentran conectadas como se muestra en la figura 2.

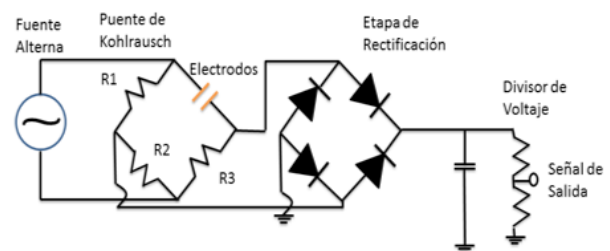


Figura 2. Etapas de acondicionamiento, rectificación y amplificación.

Para poder medir la cantidad de voltaje consumido por la solución electrolítica se dispuso de una etapa de rectificación, utilizando un puente de diodos. La cantidad de voltaje absorbido por la solución es pequeña, por lo tanto se adaptó una etapa de amplificación para la señal ya rectificada.

Se utilizó una impresora 3D para construir la estructura del porta-sensor, como se puede observar en la figura 3. El porta-sensor está diseñado de tal manera que los electrodos de metal se suspenden en la muestra líquida por completo para la medición de la conductividad. Se diseñó el porta-sensor de tal manera que la tapa del mismo es de fácil remoción, facilitando de esta forma el reemplazo de los electrodos y el sensor de temperatura si fuese necesario.

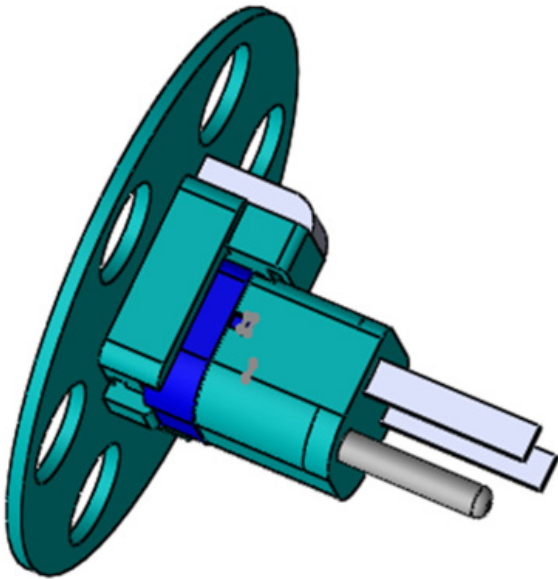


Figura 3. Ensamblaje del portasensor.

La programación se la realizó en el lenguaje “wiring” que es propio de Arduino y en el caso del sensor de temperatura utiliza una librería como fuente para realizar la medición de la misma [7].

Las mediciones establecidas como patrones para la cantidad de sales disueltas en los medios líquidos se encuentran establecidas para una temperatura de 25°C. Razón por la cual en el dispositivo desarrollado nació la necesidad de implementar un sensor de temperatura que pueda introducirse en medios líquidos. El sensor de temperatura utilizado es un sensor-DS18B20 [8].

Las conexiones electrónicas que se realizaron desde el porta-sensor hasta el acondicionamiento

de la señal para el dispositivo se pueden ver en la figura 4. La conductividad obtenida por el sensor se mide en unidades de micro-siemens por centímetro ( $\mu\text{s/cm}$ ), que es la unidad inversa de la resistividad, los resultados de la medición se ven expresados en el LCD.

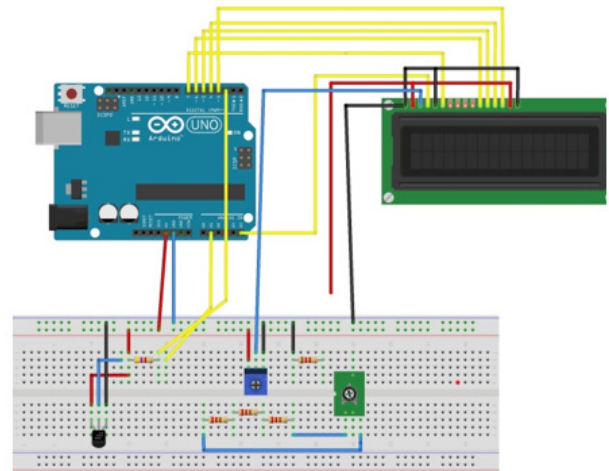


Figura 4. Conexiones electrónicas.

El instrumento ensamblado se muestra en la figura 5, en la cual se puede observar los electrodos y el sensor de temperatura montados en la estructura diseñada. También se ve la caja donde se encuentra el acondicionamiento de la señal, la fuente de voltaje sinusoidal y el microcontrolador Arduino Uno.

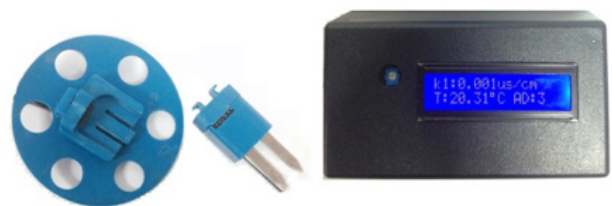


Figura 5. Instrumento finalizado con porta-sensor.

El proceso de calibración se lo realizó empleando un sensor comercial (HACH HQ40D). Las muestras empleadas fueron soluciones calibradas de agua destilada, enjuague bucal y diluciones de estos. Los datos de las muestras con sus respectivos valores de conductividad se encuentra en la tabla 1.



Tabla 1. Datos de calibración

CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{s/cm}$ )	VOLTAJE (V)
2.35	0.024
410	1.440
481	1.5820
572	1.709
712	1.709
764	1.904
1438	2.129

De la tabla 1 se obtiene el comportamiento del sensor. Mediante un ajuste se llegó a obtener una ecuación polinómica de tercer grado, la misma que se encuentra mostrada en la figura 6. Se puede deducir que dentro del rango (0 – 1500  $\mu\text{s/cm}$ ) el equipo es fiable. El comportamiento del dispositivo tiene un error aceptable en relación al equipo comercial FC28. La ecuación de la curva característica del sensor según Ec. 2. En un desarrollo posterior se incrementara el rango del sensor.

$$y = 543,4 \times e^{1,25x-1,93} + 6,44 \times 10^{-8} \times e^{38,46x-59,23} - 79,05 \quad \text{Ec. 2}$$

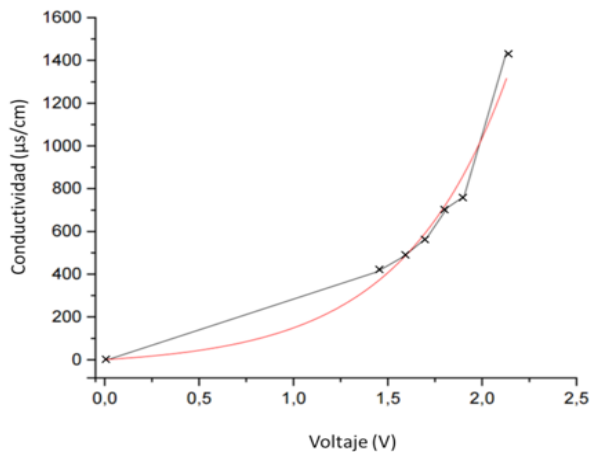


Figura 6. Curva característica del sensor.

## 4. CONCLUSIONES

Un conductímetro comercial tiene un costo aproximado de 600 dólares, mientras que este dispositivo de bajo costo tiene una inversión de alrededor de 100 dólares, por lo tanto el equipo se puede clasificar como “low-cost” siguiendo

la filosofía antes expuesta. El diseño ha sido comparado favorablemente con un conductímetro comercial en un rango de 0 a 1500  $\mu\text{s/cm}$ . Por lo cual, este dispositivo puede ser utilizado dentro de este rango. Con la aplicación de este instrumento se podría determinar la cantidad de sales minerales disueltas en productos, la disolución de sustancias, entre otras.

## REFERENCIAS

- [1] M. Kalúz, L. Čírka, R. Valo, M. Fikar, “ArPi Lab: A Low-cost Remote Laboratory for Control Education”, 19th IFAC World Congress, 2014.
- [2] “What is open source?” <http://opensource.com/resources/what-open-source>, 2015.
- [3] R. Stallman, “New UNIX implementation”, 2013.
- [4] Arduino, “What is Arduino?” <http://www.arduino.cc/>, 2015.
- [5] Reprap, “Welcome to RepRap.org”, <http://reprap.org/>, 2015.
- [6] A. Bola, “Determinación de la conductividad eléctrica”, <http://arturobola.tripod.com/conducti.htm>, 2014.
- [7] Wiring, <http://wiring.org.co/>, 2015.
- [8] Maxim Integrated, “DS18B20 Programmable Resolution”, 2008.

## BIOGRAFÍA

1 David Loza Matovelle.- Magíster en Investigación en Ingeniería de Procesos y Sistemas Industriales, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

2 Luis J. Segura.- Magíster en Sistemas de Manufactura, Docente Tiempo Completo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas

ESPE .

3 Xavier Segovia.- Ingeniero en Control, Docente Tiempo Parcial del Departamento de Ciencias de la Electrónica y Eléctrica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE..

4 Reza Dabirian.- Doctor en Electrónica Molecular y Nano-estructuras. Investigador Prometeo del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.

5 Edwin Haro Sangoquiza.- Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE.

<i>Registro de publicación:</i>	
<i>Fecha de recepción</i>	<i>11 de agosto 2015</i>
<i>Fecha aceptación</i>	<i>04 diciembre 2015</i>