



## Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: [www.riit.com.mx](http://www.riit.com.mx)

### Instrumentación y automatización de un sensor multiparamétrico en agua usando LabVIEW

#### Instrumentation and automation of a multiparametric sensor in water by using LabVIEW

Castillo-Nieto, L.H.<sup>a</sup>, Rosas-Hernández, I.<sup>a</sup>, Martínez-Montejano, R.C.<sup>a</sup>, Robles-Martínez, M.<sup>b</sup>, Pérez, E.<sup>c</sup>,  
González-Badillo, G.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media, Ingeniería Mecatrónica, UASLP. Carretera Rioverde-San Ciró km. 4, Ejido Puente del Carmen, C.P. 79619. Rioverde, México.

<sup>b</sup>Doctorado Institucional en Ingeniería y Ciencia de los Materiales (DICIM) de la UASLP. Sierra Leona No. 550 Col. Lomas 2da Sección. C.P. 78210, San Luis Potosí, S.L.P.

<sup>c</sup>Instituto de Física, UASLP. Av. Doctor Nava 6, Zona Universitaria, C. P. 78290, San Luis Potosí, San Luis Potosí.  
[lauracastillonieto@gmail.com](mailto:lauracastillonieto@gmail.com); [israelrosas1997@gmail.com](mailto:israelrosas1997@gmail.com); [roberto.montejano@uaslp.mx](mailto:roberto.montejano@uaslp.mx);  
[robles.mar@hotmail.com](mailto:robles.mar@hotmail.com); [jelias.perezl@gmail.com](mailto:jelias.perezl@gmail.com); [germanico.gonzalez@uaslp.mx](mailto:germanico.gonzalez@uaslp.mx)

**Innovación tecnológica:** Instrumentación y automatización de un sensor multiparamétrico para pruebas de calidad de agua.

**Área de aplicación industrial:** Calidad de agua.

Recibido: 08 octubre 2021

Aceptado: 16 diciembre 2021

#### Abstract

Water quality monitoring is crucial in the process of water treatment. Generally, is made by a technician in a manual way for taking the samples. There are some developments in monitoring through electronic sensors but still requires an expert for making the measurement at the moment. In this work, the instrumentation and automation of a multiparametric sensor in water quality process are proposed, taking into account parameters as ORP, pH, temperature, conductivity, dissolved oxygen, and total dissolved solids. The user interface is made in LabVIEW which processes, storage, and presents the data for its analysis. Several measurements are made in experimental water treatment, tap water, and jug water; making the comparison with traditional laboratory tests, with errors lesser than 2.1%, having in the whole cases measurements in according to the established by the Official Mexican Norms for water quality. The monitoring errors are minimized, making possible a continuous evaluation of the water process treatment and avoiding the use of a specialized technician in the samples taking.

**Keywords:** Multiparametric sensor, instrumentation, automation, graphical interface, water quality.

## Resumen

El monitoreo de calidad de agua es un proceso crucial en el saneamiento de aguas residuales. Generalmente, la toma de muestras es hecha por un técnico de manera manual. Existen desarrollos para el monitoreo a través de sensores electrónicos, pero siguen dependiendo de un experto para realizar la medición en el momento. En este trabajo se propone la instrumentación y automatización de un sensor multiparamétrico en calidad del agua, tomando en cuenta parámetros como potencial de oxidación-reducción (ORP), pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, y sólidos totales disueltos. Se incorpora una interfaz de usuario en LabVIEW que procesa, guarda y presenta los datos para su análisis. Se realizaron diversas mediciones en un tratamiento experimental para aguas residuales, agua de la llave y agua de garrafón; teniendo sus respectivas comparaciones con resultados tradicionales de laboratorio, con errores menores a 2.1%, teniendo las medidas de acuerdo con lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas para calidad de agua. Se minimizan los errores de medición, haciendo posible una evaluación continua del proceso del tratamiento del agua y de esta manera se evita el uso de un técnico especialista en el muestreo.

**Palabras clave:** Sensor multiparamétrico, instrumentación, automatización, interfaz gráfica, calidad del agua.

### 1. Introducción

El agua es esencial, no tiene sustituto y toda forma de vida depende de ella, como los ecosistemas, ciudades, zonas rurales, etc. Para la eficacia de un tratamiento de agua, es necesario conocer los índices de calidad del agua y contaminación (ICA e ICO por sus siglas en inglés). Por ejemplo, un requerimiento es obtener el total de sólidos disueltos que se encuentran suspendidos en el agua lo cual indica el agente contaminante a remover, o la suspensión de partículas para poder filtrarlas. La necesidad de utilizar un sensor para medir la concentración de partículas sin alterar el medio es evidente (1).

Los índices pueden clasificarse en distintos parámetros como materia orgánica, materia inorgánica, eutroficación, aspectos de salud, sustancias suspendidas y disueltas, nivel de oxigenación, características fisicoquímicas (2). Para monitorear esos índices es necesario muestrear el agua para poder evaluar su estado de contaminación. Un requisito para realizar un análisis de agua, es necesario que la muestra sea tomada por un profesional o un técnico con conocimiento básico en química

(3). El muestreo de agua residual puede basarse en horas de trabajo del operador de descarga; si es menor a cuatro horas, se toman un mínimo de dos muestras; para cuatro a ocho horas se toman cuatro muestras por cada hora o máximo cada dos horas; si es mayor a ocho pero menor a doce, cuatro muestras cada dos horas se deben de tomar (4). Además, dependiendo del parámetro a medir, la muestra debe de ser tomada a una cierta profundidad y colocada en recipientes limpios. Esos recipientes pueden provocar variaciones en las lecturas debido al material con el que están contruidos (5). También, las condiciones climatológicas pueden afectar a las muestras de agua y es posible que la persona que toma la muestra se pueda contagiar de una enfermedad viral o inhalar partículas en algunas ocasiones (6). Una alternativa a esto es automatizando el proceso a través del uso de sensores que capten los datos para un posterior análisis. Los sensores utilizados para tomar muestras de agua son conocidos como sensores multiparamétricos.

Los sensores multiparamétricos son ampliamente usados en el monitoreo de calidad de agua debido a su facilidad de uso y

adquisición de datos, de los cuales junto con otras fuentes de información ayudan a entender la dinámica de la evolución del sistema, por ejemplo, las oscilaciones diurnas de la concentración de oxígeno disuelto en la fotosíntesis (7). La Topología de Sensor Multiparamétrico en Poliedro, es una topología moderna para el monitoreo de variaciones espaciales y temporales de los parámetros obtenidos, la cual ha sido probada y es una opción conveniente en la medición de parámetros de calidad en ríos (8).

Una investigación desarrollada por el Departamento de Electrónica y Comunicación Multimedia de la Universidad de Kosice describe un sensor multiparamétrico para monitoreo de calidad de agua. Esta red usa un sistema moderno de comunicación que permite obtener información de contaminantes existentes, esos datos obtenidos son procesados y guardados en una base de datos en la nube para un posterior análisis (9). En 2017 se presentó un sensor basado en nodo inalámbrico, que establece comunicación con un teléfono inteligente a través de Bluetooth, lo cual permite tener un monitoreo a distancia (10). Otro trabajo propone un sistema basado en nodos de sensores de pH, oxígeno disuelto, y reducción de potencial de oxígeno; en donde el sistema transmite información haciendo uso de la tecnología de Internet de las Cosas (11). En el trabajo (12), se propone el monitoreo de la calidad del agua mediante sensores químicos de fibra óptica, desarrollando un equipo que opera de manera in situ, denominado OPTOSEN. Por otro lado, en la referencia (13), se muestra el desarrollo de un sensor basado en sistemas micro electro mecánicos (MEMS), para el monitoreo de pH, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal y temperatura, para medidas in situ.

Los trabajos antes mencionados, manifiestan la necesidad de usar sensores

multiparamétricos para el monitoreo y control de tratamientos de agua, otorgando oportunidades de mejora y creación de nuevas características. Algunos modelos comerciales son el HI98194 de Hanna Instruments (14) y el AP-5000 de Alphaomega Electronics (15), que pueden adquirir los parámetros previamente mencionados. Los modelos comerciales son para uso profesional, sin embargo, la mayoría de esos sistemas no pueden ser modificados y no aceptan mejoras como incremento de número de sensores, habilidad de presentar y guardar información, o de añadir nuevas funcionalidades como el monitoreo remoto.

En este trabajo se presenta la instrumentación y automatización de un sensor multiparamétrico para medición de calidad de agua en tratamientos de aguas residuales con parámetros como ORP (Potencial de Óxido-Reducción), pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos. Para el tratamiento de agua residual se tomó el principio de Boycott que consiste en un asentador de placas paralelas inclinadas a 45 grados al cual se le acopla las sondas del sensor en distintos puntos del asentador para obtener un muestreo amplio en la medición de calidad de agua. Esa información es procesada, guardada y mostrada en una interfaz gráfica desarrollada en el software de LabVIEW. Con esto se puede garantizar un monitoreo constante, un fácil manejo de la interfaz, y evita la necesidad de tener un especialista para la toma de muestras.

## 2. Materiales y equipo

Materiales: sensor SEN0165 para ORP, Sensor SEN0169 de pH, Sensor DFR0300 de conductividad, SEN0237 de oxígeno disuelto, sensor SEN0244 para sólidos disueltos totales, kit de temperatura DFRobot, Arduino UNO.

Equipo: Laptop Dell Inspiron 15 5000 series, LabVIEW 2014, asentados de placas paralelas tipo Boycott de acrílico.

### 3. Metodología

Basándose en las Normas Oficiales Mexicanas para calidad de agua, se realizó una investigación para la selección de los sensores que se pudieran acoplar con la plataforma Arduino, la cual se utilizará como tarjeta de adquisición de señales. Posteriormente, se desarrolla una interfaz amigable con el usuario en el software de LabVIEW de National Instruments, donde se presentan, grafican, guardan y procesan los datos adquiridos por los sensores, para finalmente validar el sensor realizando pruebas en aguas residuales, agua de la llave y agua de garrafón que se comparan tanto con pruebas convencionales en laboratorio, como con los rangos de las Normas Oficiales Mexicanas.

#### 3.1 Selección de componentes

Para la correcta selección de componentes se siguieron las normas mexicanas y del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTERMARNAT) de acuerdo con los parámetros necesarios (16). Se priorizó el costo, calidad, capacidad de enviar información y conectividad con otros sistemas. Los sensores seleccionados son del desarrollador DFRobot que corresponden a SEN0165 para ORP, SEN0169 para pH, el kit de temperatura, DFR0300 para conductividad, SEN0237 para oxígeno disuelto y SEN0244 para sólidos totales disueltos. El desarrollador provee características de cada sensor para rango, medición y precisión. La intención es que los sensores puedan funcionar para agua potable, agua de la llave, agua residual y agua tratada.

El sensor SEN0165 mide el ORP y es de naturaleza análogo y mide la habilidad de oxidación y reducción en una solución acuosa y traduce esta medida en mV. Un potencial positivo significa que la solución muestra un cierto grado de oxidación, mientras que un potencial negativo exhibe un cierto grado de reducción. El elemento de medición es un compuesto de electrodo hecho de oro o platino. Su principal uso es en acuicultura y pruebas de calidad de agua.

Por su lado el sensor SEN0169 mide el potencial de hidrógeno, de fácil conexión y con una duración de un año, que lo hace adecuado para mediciones de monitoreo a largo plazo. El electrodo de pH está hecho de una membrana de vidrio sensible con baja impedancia. En el rango de 0 a 14 el voltaje de salida es lineal. El sistema de referencia consiste en un gel de electrolito de puente salado que tiene estabilidad y un buen funcionamiento anticontaminante.

Otro sensor, es el DS18B20 que viene en un kit y sirve para medir la temperatura de manera digital, además de ser a prueba de agua. Al momento de poseer solamente un cable permite poderlo colocar en diferentes sitios. Tiene un rango de temperatura de -55 a 125 °C con una resolución de 0.5 °C.

Para poder medir la conductividad eléctrica (que es la capacidad de un líquido para conducir electricidad) en medios acuosos, se utiliza el sensor DFR0300 y de esta manera ayudar a evaluar la calidad del agua. Es compatible con voltajes de entrada de 3.3 y 5V que tiene un filtro de la señal de salida. La librería de programación usa un método de dos puntos de calibración y de manera simple y conveniente, puede detectar la solución estándar de calibración.

También se utiliza el sensor SEN0237 que es un sensor de medición de oxígeno disuelto en agua, el cual es un parámetro importante para

poder mantener la vida, ya que una baja oxigenación conllevaría una dificultad para respirar de los organismos acuáticos. La sonda que utiliza el sensor es galvánica, no necesita tiempo de polarización. La solución de relleno y la capa de membrana son reemplazables, lo que conlleva bajos costos de mantenimiento. Puede ser integrado fácilmente a cualquier sistema de control y monitoreo.

Finalmente, el sensor SEN0244 indica los miligramos de sólidos solubles se encuentran disueltos en un litro de agua. En general, un valor alto de sólidos disueltos demuestra que el agua es menos limpia, por lo que se puede utilizar como valor de referencia de la limpieza del agua.

### 3.2 Arduino y LabVIEW

Para el procesamiento de señales y adquisición de datos se utiliza la plataforma Arduino debido a su fácil uso y bajo costo (17). Arduino es una plataforma de código abierto que se usa en la construcción y programación de electrónica. Tiene la ventaja de que no necesita una pieza por separado de hardware para poder cargar un nuevo código a la tarjeta, se conecta mediante puerto USB a la computadora y utiliza un lenguaje simplificado de C++, haciéndolo fácil de programar y provee un ambiente amigable para el usuario en el desarrollo de código, es una tarjeta de desarrollo que es capaz de

enviar y recibir información de una amplia variedad de dispositivos.

La interfaz de usuario se desarrolla en el software LabVIEW de National Instruments, el cual es ideal para adquisición de datos, presentación de datos, análisis de datos, automatización y control de instrumentos. LabVIEW es un lenguaje basado en programación gráfica, debido a que las representaciones gráficas son notaciones de diseño más naturales para los ingenieros. La interfaz gráfica desarrollada permitirá visualizar los datos del sensor en la misma ventana y tener un proceso secundario en donde se tiene una base de datos para cada sensor, valores promedio, valores máximos y mínimos. La comunicación entre Arduino y LabVIEW es mediante puerto serial, usando la librería VISA (18).

### 3.3 Programación de sensores

Cada sensor se programa en el software de Arduino IDE para su uso de manera independiente, en donde los datos adquiridos son comparados con los valores otorgados por el fabricante, y el código es sintetizado y depurado mediante librerías, esto es con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento. La información obtenida para agua de la llave y su comparación para los valores de referencia se muestra en la Tabla 1 (19).

**Tabla 1.** Valores medidos contra valores del fabricante para agua de la llave.

Sensor	Valor de referencia	Valor medido
ORP	200 a 300 mV	222 mV
pH	7.2	6.68
Temperatura	29°C	29.56°C
Conductividad eléctrica	0.005-0.05 S/m	0.001 S/m
Oxígeno total disuelto	8.91 mg/L	9.47 mg/L
Sólidos totales disueltos	0<300 ppm	207 ppm

Los valores son medidos en un recipiente de plástico que contiene agua de la llave y los datos que arroja el sensor en el puerto serial

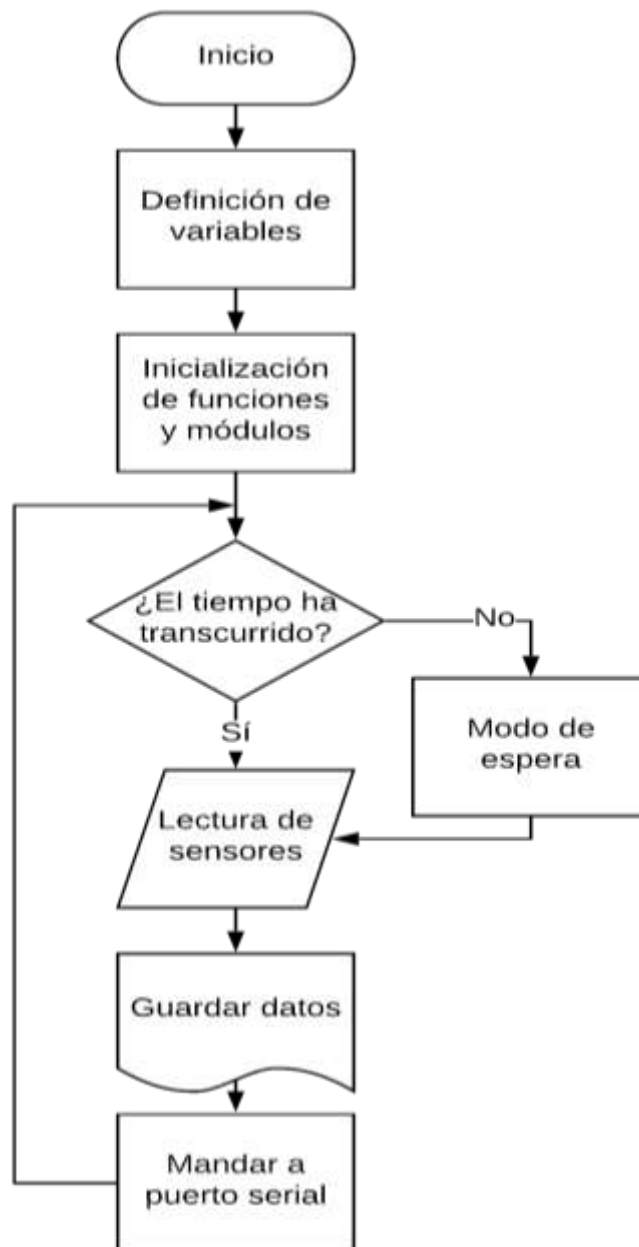
son comparados con los establecidos por el fabricante para agua de la llave.

## 4 Desarrollo

### 4.1 Programación en Arduino UNO

El programa se estructura de acuerdo con diagrama de flujo que se muestra en la Figura 1, empezando con la declaración de variables y constantes, inicialización de funciones de sensores, módulo de Reloj en Tiempo Real (RTC por sus siglas en inglés), y módulo de memoria SD, enseguida se evalúa el tiempo

establecido por el módulo RTC en minutos. Si el tiempo ya transcurrió se toman las lecturas de cada sensor, se guardan en conjunto con la hora en la que se realizó la lectura en un archivo de Excel el cual tendrá como nombre la fecha de toma de lecturas. Además, los datos se mandan por puerto serial para su análisis posterior en LabVIEW. El ciclo se repite, si el tiempo no ha transcurrido, el programa entra en modo de espera.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de programación en Arduino.

La programación de cada sensor es hecha en la tarjeta de Arduino UNO al que se le acopló un dispositivo de expansión, el cual permite la interconexión de los sensores de forma individual. Todos los sensores son probados y agrupados en el mismo programa. El módulo RTC se estableció como el único reloj entre el microcontrolador y la computadora, lo que facilita la captura de

datos cada dos minutos en una memoria microSD. El archivo de Excel es guardado especificando en el título de este el día/mes/año de creación, así como se muestra en la Figura 2. En el lado izquierdo de la Figura 2 se muestra la captura de datos, en medio el archivo de Excel y del lado derecho el ícono del archivo guardado con el nombre anteriormente especificado.

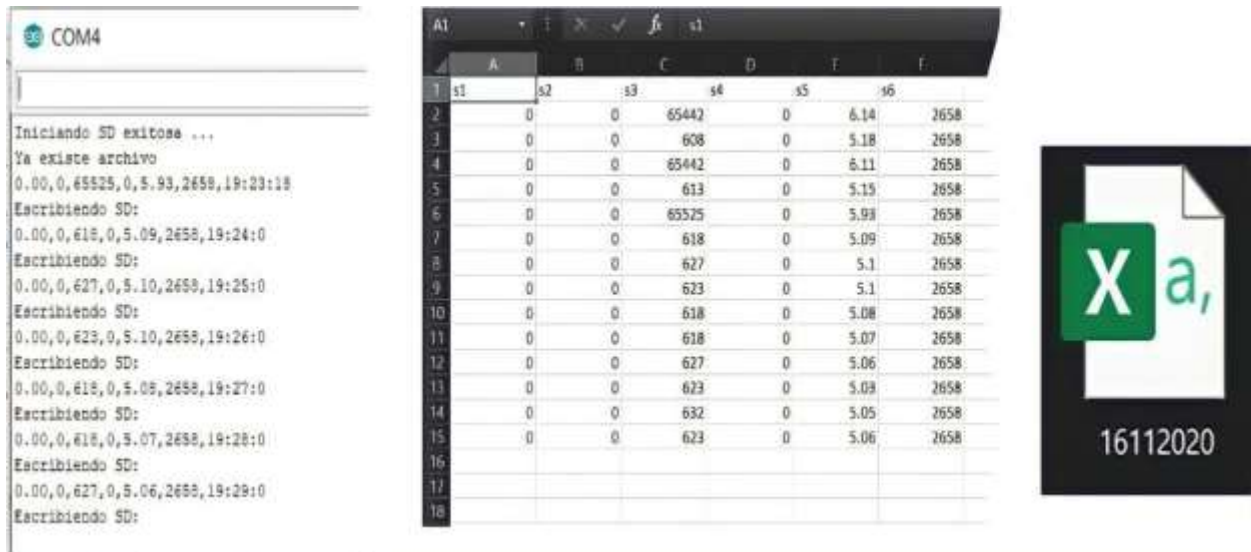


Figura 2. Interfaz con Arduino y archivo de Excel.

#### 4.2 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica se diseña en dos partes, una principal y otra secundaria, en donde las lecturas se pueden visualizar de manera general (principal) o particular (secundaria). La interfaz gráfica se desarrolla de acuerdo con la Figura 3. En un principio el programa

muestra la fecha, hora y las lecturas de los sensores una vez que son recibidos. El usuario tiene las siguientes opciones, guardar datos, mantenerse en la ventana principal, visualizar las gráficas o seleccionar un sensor en específico. Por cada selección, se abre una nueva ventana en la que se ofrecen opciones de acuerdo con lo que seleccione el usuario.

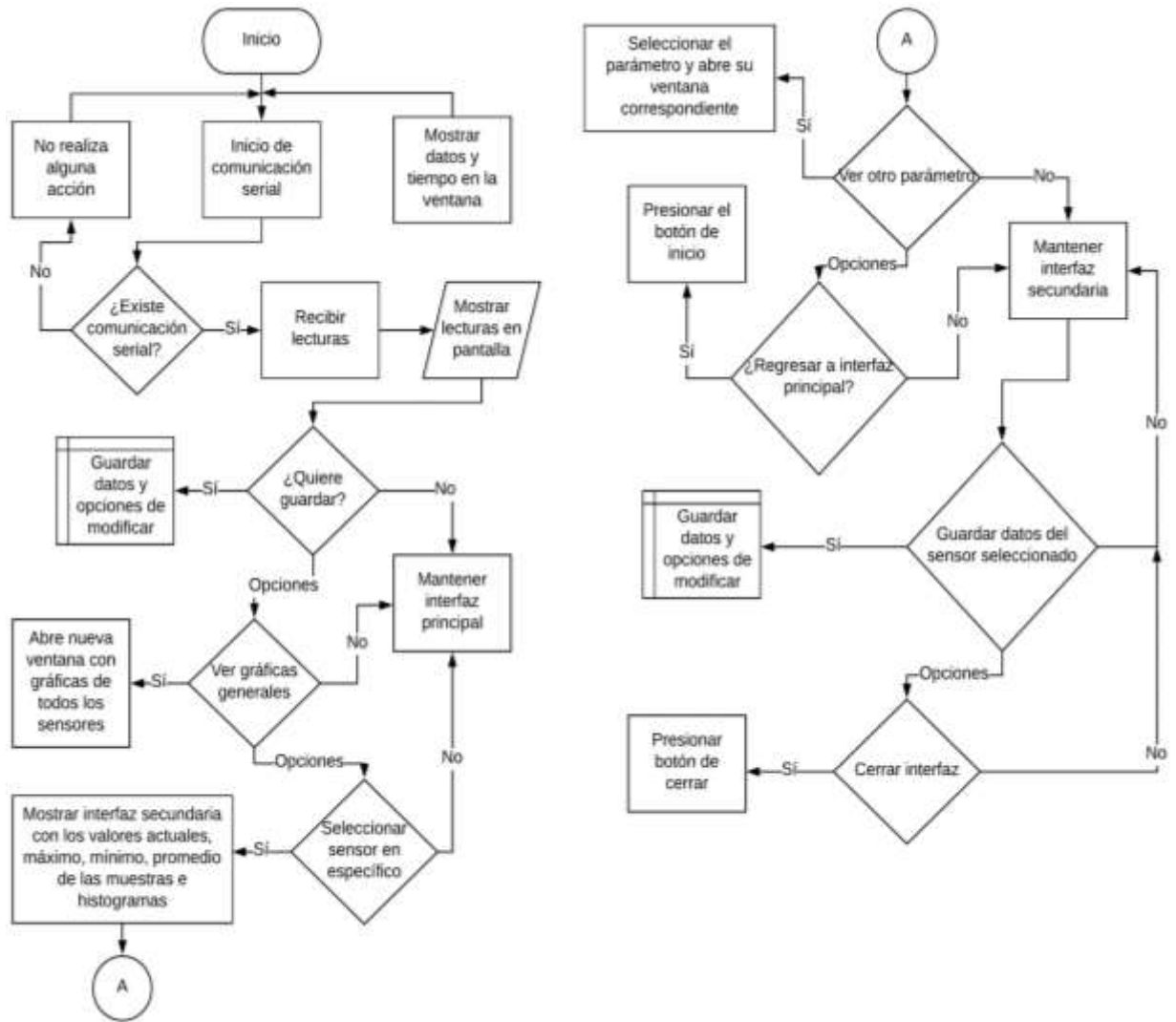


Figura 3. Diagrama de flujo de la interfaz gráfica.

La interfaz principal se muestra en la Figura 4. Si la comunicación serial no es inicializada los valores actuales y los valores promedio serán cero. Una de las opciones en esta interfaz de usuario es salvar los datos, esta

opción abre una ventana emergente para seleccionar la ruta en la que se quieren guardar los valores y cambiar el nombre del archivo, además aparece un botón de cancelar la operación y regresa a la interfaz principal.

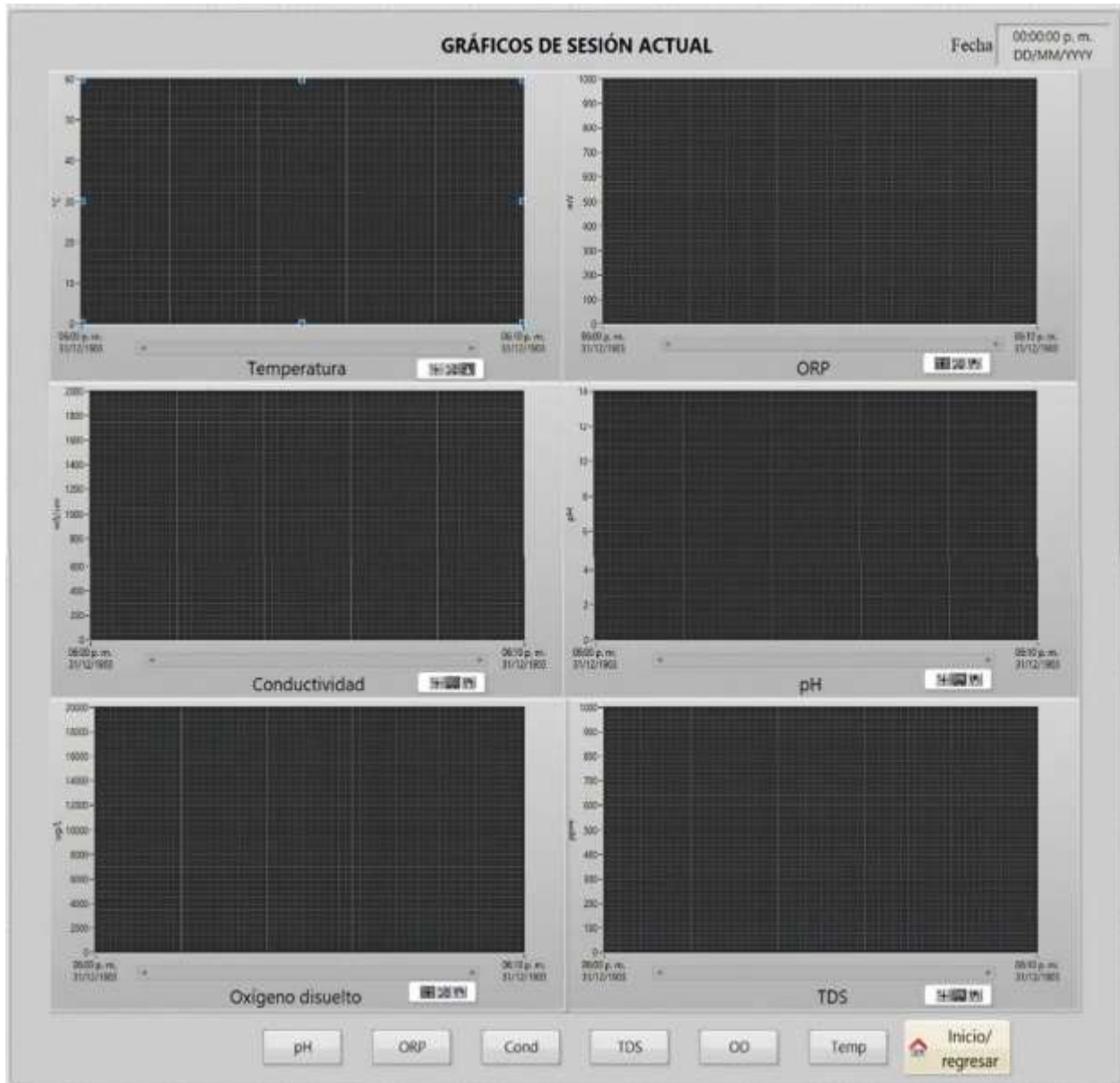




**Figura 4.** Interfaz principal.

Otro botón es la opción de Gráficas, en donde el usuario puede visualizar los histogramas de cada parámetro en una ventana emergente (Figura 5). Si el usuario detecta alguna eventualidad en algún parámetro, tiene la opción de ir directamente a la interfaz secundaria de este parámetro (Figura 6) y ver el valor actual, valor máximo, valor mínimo, valor promedio, el histograma del parámetro y la opción de salvar los datos de ese

parámetro en específico, lo cual abre la ventana emergente descrita previamente. En la flecha de puerto se selecciona el puerto mediante el cual se conecta el Arduino con la computadora (el cual no es difícil de seleccionar, ya que al momento de dar clic aparece en una ventana de diálogo y solamente es elegirlo). El botón de inicio ejecuta la interfaz y el de detener cancela la operación de esta.



**Figura 5.** Ventana emergente para el botón de gráficas.

De la misma manera, desde la interfaz secundaria (Figura 6), otro parámetro puede ser seleccionado o se puede regresar a la

interfaz principal dando clic en inicio/regresar. El proceso se puede finalizar dando clic en cerrar.

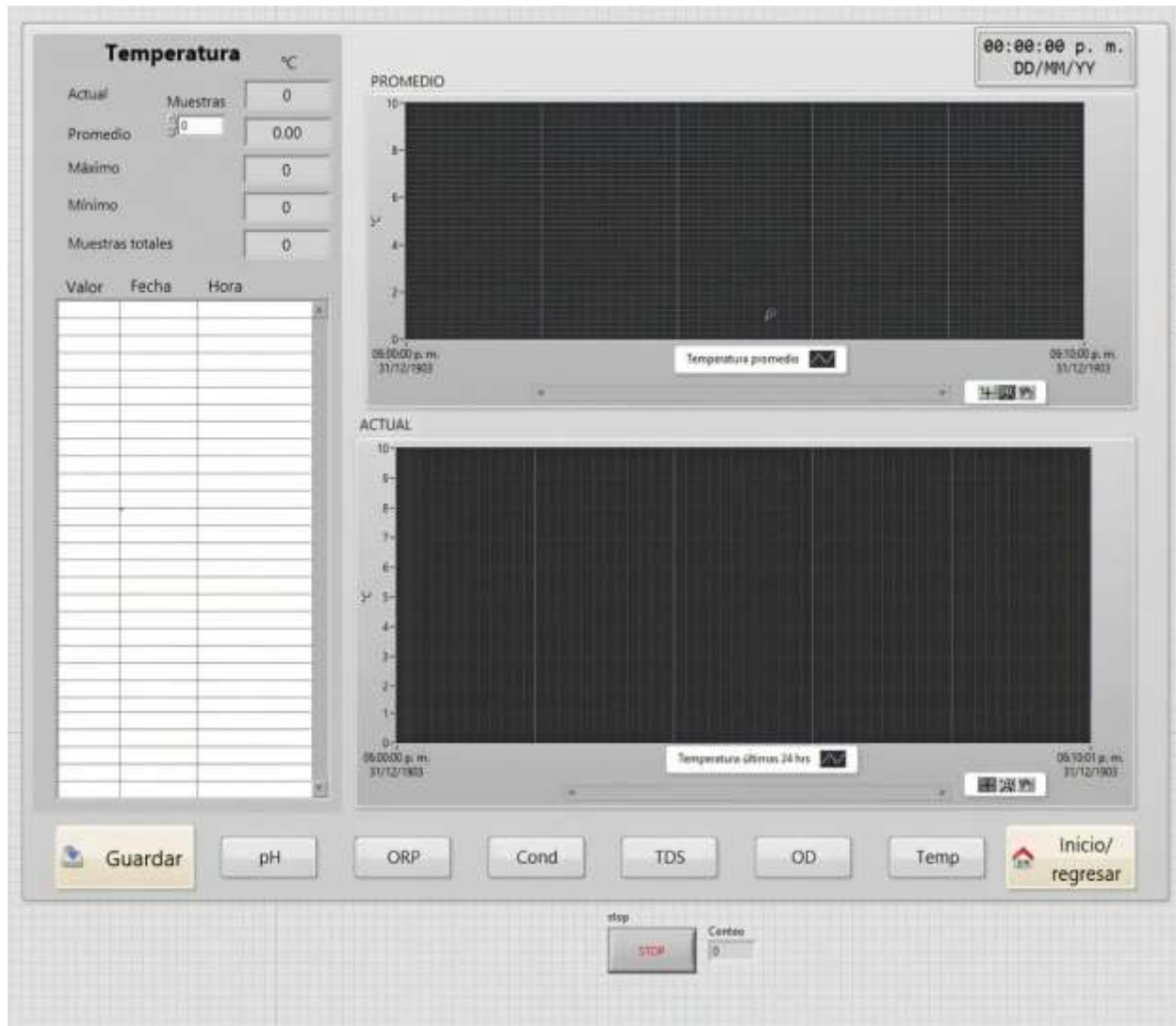


Figura 6. Interfaz secundaria.

### 4.3 Asentador de placas paralelas

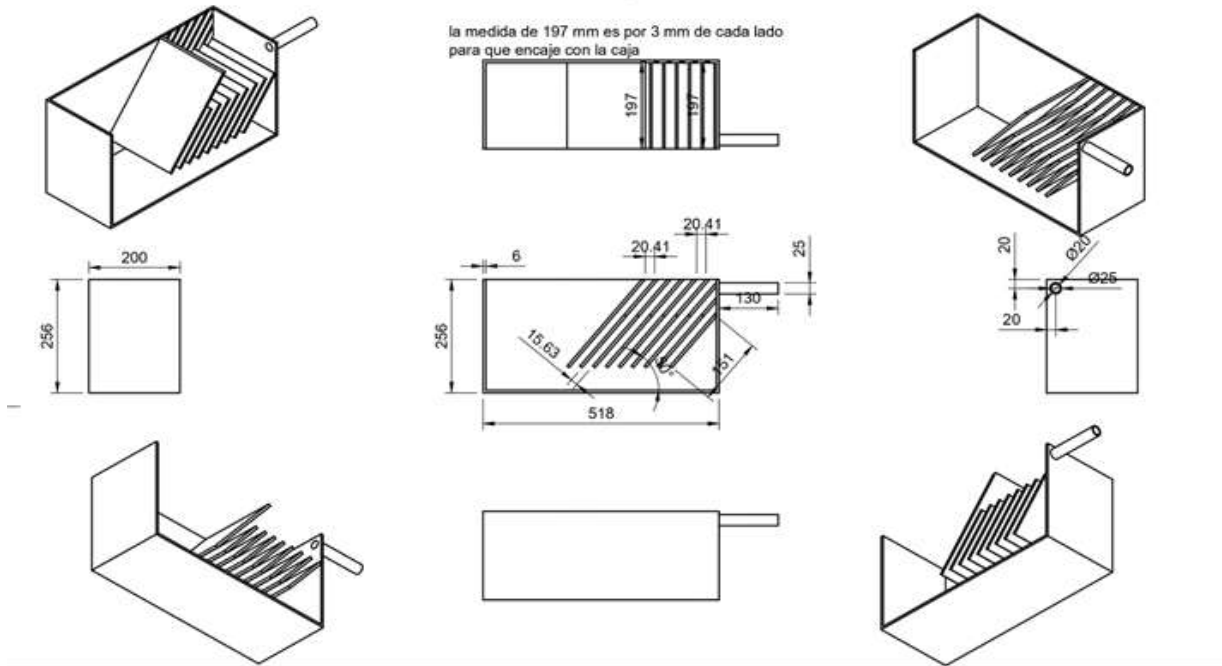
La principal función del asentador de placas paralelas es la sedimentación de los sólidos presentes en el agua residual, en este caso por gravedad. Las partículas al momento de tener contacto con la placa se van sedimentando, además, se añadió un recubrimiento para mejorar y aumentar la adsorción de contaminantes. En el diseño convencional del tanque de sedimentación por gravedad es necesario que el área de la sección transversal permita la sedimentación adecuada de las partículas contenidas en la solución, dada una tasa conocida de efluente. El efecto de

Boycott describe el aumento en la velocidad de sedimentación de partículas debido a la presencia de una superficie inclinada.

Este fenómeno fue descubierto por Boycott en 1920 con el descubrimiento de que, si la sangre desfibrilada se coloca en tubos estrechos, los corpúsculos se sedimentan mucho más rápido si el tubo está inclinado que cuando está vertical (20). El aumento en la velocidad de sedimentación puede describirse imaginando una partícula de sedimentación dentro de un medio inactivo infinito en un recipiente con paredes verticales (21).

Los asentadores de placas inclinadas son dispositivos de sedimentación de alta velocidad que consisten en una serie de placas paralelas inclinadas apiladas para formar canales en los que se puede colocar una solución que contiene partículas, como agua potable o residual, para la separación gravitacional. La pila de placas se instala normalmente entre un canal de entrada y

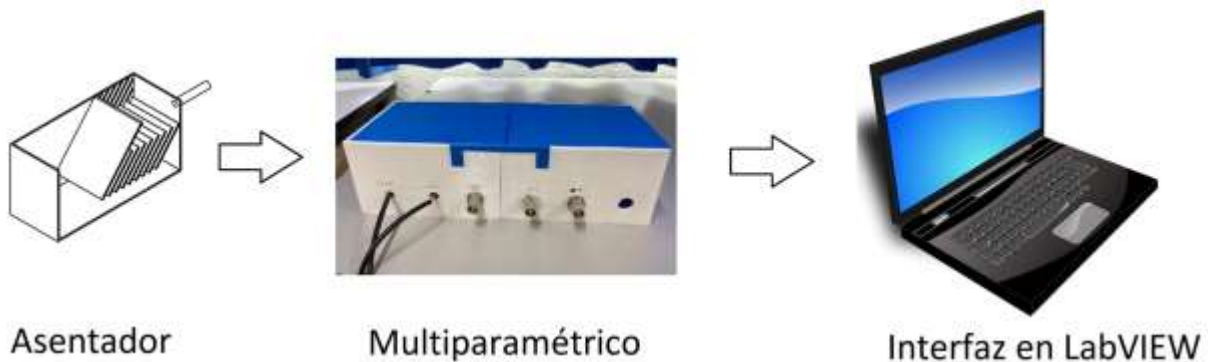
salida paralelo, la partícula se coloca dentro de un recipiente con una superficie inclinada, esto le da a la partícula la oportunidad de alcanzar una superficie sin tener que atravesar todo el contenedor. Al entrar en contacto con la superficie, puede deslizarse hacia abajo hasta llegar al fondo de la pendiente. El prototipo de asentador, que incluye medidas, se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Asentador de placas en paralelo con las medidas de construcción.

Finalmente, en la Figura 8, se muestra el diagrama de conexión del sensor desarrollado con la computadora y el asentador de partículas. Cabe denotar que el asentador se

usó para las pruebas en físico del prototipo, sin embargo, este pudiera ser cualquier contenedor de agua.



**Figura 8.** Esquema general del prototipo.

### 5. Resultados

El sensor multiparamétrico fue caracterizado para su validación con agua de la llave, potable y residual. De los primeros dos solamente se tomaron muestras y se compararon con protocolos estándares convencionales de laboratorio de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (solamente los de pH, sólidos totales disueltos y conductividad, que es con lo que cuenta el laboratorio de la unidad), mediante un potenciómetro HANNA instrument Modelo HI2550. Los valores que se muestran en la tabla 2 son valores promedio, ya que cada medida fue llevada por triplicado. El sedimentador, junto con la caja de sensores e interfaz con Arduino, y la computadora donde se encuentra la interfaz gráfica de LabVIEW

se muestra en la Figura 9. Además, de manera cualitativa se aprecia en la misma figura el inicio del tratamiento con el sedimentador y a la derecha 24 horas después, con el agua más limpia.

En el caso del agua residual, fueron realizadas en el asentador del principio de Boycott (Figura 7). El tratamiento se monitoreó de manera continua durante 24 horas, y los resultados fueron comparados con pruebas de laboratorio convencionales (una muestra al inicio, una a la mitad y otra al final), como en los casos para agua de la llave y agua de garrafón, que se muestran en la Tabla 2. Además, en la Figura 10, se muestran los resultados en gráficas que arroja la interfaz de LabVIEW.



Figura 9. Sedimentador de partículas basado en principio de Boycott.

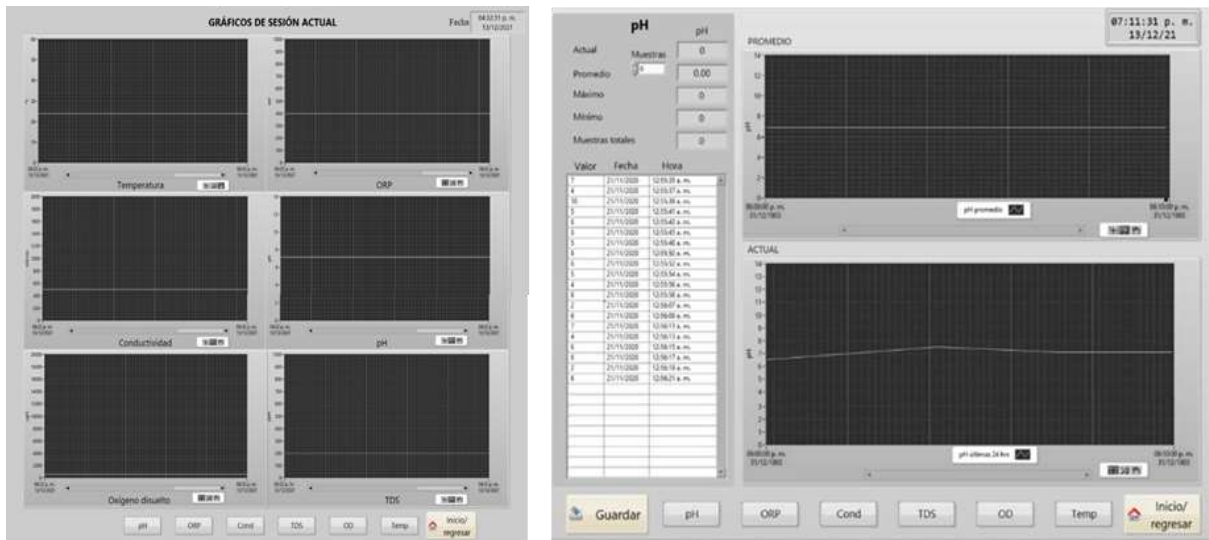


Figura 10. Resultados mostrados en la interfaz gráfica.

**Tabla 2.** Resultados comparados con pruebas de laboratorio.

Tipo de agua	Parámetro	pH	Sólidos totales disueltos	Conductividad Eléctrica
Agua de garrafón	Resultado de laboratorio	7.54	114.8 ppm	229.8 microS/cm
	Resultado del sensor	7.49	111.0 ppm	222.0 microS/cm
Agua de la llave	Resultado de laboratorio	7.64	749.0 ppm	1,498.0 microS/cm
	Resultado del sensor	7.74	762.0 ppm	1,524.0 microS/cm
Agua residual	Resultado de laboratorio	7.77	1,355.0 ppm	2,711.0 microS/cm
	Resultado del sensor	7.73	1,335.0 ppm	2,470.0 microS/cm

Los resultados de los tres sensores faltantes fueron comparados con los valores de referencia de las Normas Mexicanas para

cada tipo de agua (agua de garrafón, agua de la llave y agua residual), teniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3 (16).

**Tabla 3.** Resultados comparados con normas mexicanas.

Tipo de agua	Parámetro	ORP	Oxígeno total disuelto	Temperatura
Agua de garrafón	Valor de referencia	200-300 mV	0-5 mg/L	23.0 °C
	Resultado del sensor	286 mV	1.963 mg/L	23.56 °C
Agua de la llave	Valor de referencia	400 mV	0-5 mg/L	23.5 °C
	Resultado del sensor	393 mV	2.114 mg/L	24.06 °C
Agua residual	Valor de referencia	650 mV	0-5 mg/L	24.00 °C
	Resultado del sensor	544 mV	1.082 mg/L	24.56 °C

Analizando los valores promedios de las tres diferentes pruebas realizadas para el sensor multiparamétrico, se puede concluir que el sensor de pH tiene un error promedio de 0.6%, el de sólidos totales disueltos de 2.1%, y el de conductividad eléctrica de 0.4%, todos estos, comparados con resultados de laboratorio. Los errores obtenidos se pueden deber a la no linealidad de los sensores con los que se están realizando las mediciones, sin embargo, estos no son de importancia debido

al amplio rango de las mediciones establecidas por las Normas Mexicanas.

## 6. Discusión de resultados

El prototipo desarrollado presenta algunas mejoras y similitudes respecto a los sensores multiparamétricos comerciales y otros encontrados de manera experimental en la literatura. Dentro de las similitudes se encuentran los parámetros a medir y que cumplen con lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas (14).

Las ventajas son:

- Incorpora más mediciones de parámetros que los multiparamétricos comerciales como Hanna Instruments HI2550, Hanna Instruments HI98194 y el AP-5000 de Alphaomega Electronics y que los desarrollados en investigación en (10) oxígeno disuelto, conductividad y temperatura, en (11) pH, color y temperatura.
- Es de arquitectura abierta, por lo que se pueden añadir más sensores o remover algunos a diferencia de los sensores comerciales previamente mencionados y de los desarrollos experimentales como en (12) y (13).
- Presenta una interfaz gráfica amigable con el usuario, en donde se pueden verificar las gráficas de cómo va evolucionando el sistema, valores promedio, valores máximos y valores mínimos, a diferencia de los sensores comerciales previamente mencionados en donde se obtiene solamente la lectura inmediata. Esta se desarrolla en LabVIEW, en las referencias (11) se utiliza un teléfono inteligente y su memoria interna para la presentación de datos y la referencia (10) lo manda a una base de datos en la nube. Sin embargo, ninguna de los dos desarrollos presenta algo de desarrollo estadístico.
- Guarda los datos de manera automática en hojas de Excel directamente desde el microcontrolador y también presenta la opción de poderlos guardar desde la interfaz.
- Los datos son tomados cada dos minutos y no se necesita de un especialista en la toma de muestras en un tratamiento de aguas residuales.

- La interfaz desarrollada es portable, por lo que puede funcionar en otras computadoras sin necesidad de tener instalado LabVIEW.
- Permite también monitoreo en tiempo real.

Dentro de las desventajas que se presentan se enuncian las siguientes:

- Actualmente no presenta monitoreo remoto (Wi-Fi o Bluetooth), se pudiera incorporar mediante protocolo TCP/IP, mandando los datos que recaba la computadora donde se obtienen los datos a otra donde nada más se presenten los mismos. Esto en el estado actual del desarrollo del prototipo limita a tener una computadora a un lado de donde se están haciendo las mediciones.
- Sería necesario incorporar una base de datos en la nube y tecnología de Internet de las Cosas para el monitoreo remoto, así como lo hacen las referencias (10) y (11).
- De manera similar que los sensores multiparamétricos comerciales y experimentales existentes, las puntas de prueba tienen tiempo de caducidad y es necesario limpiarlas después de las mediciones: el sensor de SEN0165 para ORP tiene tiempo de funcionamiento de un año, además se requiere limpiarlo antes y después de cualquier medición con agua desionizada; por su parte, el sensor SEN0169 requiere ser sumergido en solución KCL3N cuando no se esté usando, ya que se puede descomponer; el sensor DFR0300 es necesario lavarlo con agua limpia antes de cada medición; y por último, la punta del sensor SEN0237 necesita una solución de llenado de 0.5 mol/L de NaOH.

## 7. Conclusiones

En este trabajo se instrumentó y automatizó un sensor multiparamétrico para el monitoreo de aguas, ya sea de la llave, garrafón o residual, teniendo una interfaz amigable con el usuario en LabVIEW. Los parámetros seleccionados para el sensor multiparamétrico fueron de acuerdo con lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas para el tratamiento de aguas residuales. La interfaz de LabVIEW no solamente presenta los datos en tiempo real, también permite visualizar el histórico de los valores promedio de los datos, gráficas de cada parámetro y salvar la información en hojas de Excel para poder contar con una base de datos. Además, el microcontrolador genera por su parte una hoja de Excel por día con la información de las muestras recabadas guardándolas en una memoria SD, para su posterior visualización. De esta manera, el sistema puede funcionar sin necesidad de estar conectado a una computadora y se puede utilizar en monitoreo constante. Se propone como trabajo a futuro incorporar el monitoreo remoto.

## 8. Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el proyecto “Omnifobicidad de superficies estructuradas”, con clave 252320 de CONACyT.

## 9. Referencias

1. Zhang, F., Lewis, E., & Scully, P. (2000). An optical fibre sensor for particle concentration measurement in water systems based on inter-fibre light coupling between polymer optical fibres. *Transaction of the Institute of Measurement and Control*, 413-220.
2. Maguvu, T., Bezuidenhout, C., Kritzinger, R., Thsolo, K., & Plaatjie, M. (2020). Combining physicochemical properties and microbiome data to evaluate the water quality of South African drinking water production plants. *Plos One*, 15(8) 1-21.
3. Instituto de Hidrología, M. y. (2007). ideam. Recuperado el 10 de September de 2020, de [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)
4. CONAGUA. (2020). Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 29 de May de 2021, de [http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Declaragua/Procedimiento\\_Muestreo.pdf](http://www.conagua.gob.mx/conagua07/Declaragua/Procedimiento_Muestreo.pdf)
5. WHO. (2021). Water sampling and analysis. Recuperado el 12 de July de 2021, de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/2edvol3d.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol3d.pdf)
6. García, M. (2006). Virus en aguas de consumo. *Higiene y sanidad ambiental*, 6, 173-189.
7. Pastres, R., Ciavatta, S., & Solidoro, C. (2003). The Extended Kalman Filter (EKF) as a tool for the assimilation of high frequency water quality data. *Ecological Modelling*, 170(3), 227-235.
8. Jindal, H., Saxena, S., & Kasana, S. (2017) A sustainable multi-parametric sensors network topology for river water quality monitoring. *Wireless Networks*, 24(8), 3241-3265, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-017-1532-z>



9. Pule, M., Yahya, A., & Chuma, J. (2017). Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. *Journal of Applied Research and Technology*, 15(6).
10. Jindal, H., Saxena, S., & Kasana, S. (2017). Sewage water quality monitoring framework using multiparametric sensors. *Wireless Personal Communication*, 97, 881-913.
11. Saravanan, K., Anusuya, E., Kumar, R., & Son, L. (2018). Real-time water quality monitoring using Internet of the Things in SCADA. *Environ Monit Assess*, 190(556).
12. Orellana-Moraleda, G. (2010). Monitorización de calidad de aguas y control de procesos mediante sensores químicos de fibra óptica. *TECNIA*, 20(2), 37-49.
13. Wang, X., Sun, L., Shi, Y. (2020). Research on a miniature water quality sensor chip and system with a temperature compensation function. *Journal of Sensors*. 1-16.
14. HANNA. (2021). Hanna Instruments. Recuperado el 12 de July de 2021, de <https://hannainst.com.mx/productos/linea/acuacultura/medidor-multiparametrico-de-ph-orp-ce-tds-salinidad-od-presion-temperatura/>
15. AlphaOmega. (2021). Alpha Omega Electronics. Recuperado el 12 de July de 2021, de <https://www.alphaomega-electronics.com/es/sensores-y-sondas/2279-ap-5000-sondas-portatil-multiparametro-para-agua-dulce-salada.html>
16. CONAGUA. (1997). Normas Oficiales Mexicanas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1-65.
17. Jiménez, J., Lara, R., & Redel, D. (2014). API for communication between LaBVIEW and Arduino UNO. *IEEE Latin America Transactions*, 12(6), 971-976.
18. Chao, J., Wu-bin, X., & Bing, L. (2013). Design of Instrument Control System based on LabVIEW. *Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 11(6), 3427-3432.
19. DFRobot. (2021). DFRobot. Recuperado el 12 de July de 2021, de <https://wiki.dfrobot.com/>
20. Boycott, A. (1920). Sedimentation of blood corpuscles. *Nature*, 104, p. 532.
21. Wisniewski, E. (2021). Sedimentation Tank Design for Disadvantage Rural Communities in the Hilly Regions of Nepal. *Journal of Humanitarian Engineering*. pp. 13-44.