

IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO EMBEBIDO PARA LA MEDICIÓN DE LA TURBIEDAD EN AGUA POTABLE

Antonio Arellano González
pabloaag@gmail.com
Hernández Bolaños Miguel
mbolanos@ipn.mx
Nilda Fabiola Encarnacion Avalos
fabi-nil_34@hotmail.com

Instituto Politécnico Nacional-CIDETEC

RESUMEN

En la actualidad la calidad del agua se ha convertido en un grave problema, ahora más que nunca la supervisión de los parámetros que determinan estos estándares se han vuelto ineludibles. La calidad ha alcanzado una importancia tan grande como el problema de su escasez. Este artículo se enfoca en la medición de la turbidez del agua ya que es un indicador básico de la calidad de ésta, es decir, la turbidez es un indicio de la presencia de sedimentos, minerales y otros componentes que actúan como contaminantes del agua y al ser consumidos ocasionan un problema de salud. Con este trabajo se expone la factibilidad de desarrollar un prototipo para la medición de la turbidez, utilizando un sensor de uso comercial SEN0189 y un microcontrolador Arduino Nano. Obteniendo resultados muy favorables considerando factores como la viabilidad técnica-económica y la precisión de dicho prototipo.

1. Introducción

La correlación de la calidad del Agua y las enfermedades tiene una estrecha relación. Remontándonos a la epidemia del Cólera en Londres (1854) donde el Médico Inglés Jhon Snow (1813-1858) también conocido como el padre de la epidemiología moderna estableció la directa relación entre esta enfermedad y el consumo de agua contaminada. Los problemas relacionados con la contaminación de agua se acentuaron con la Segunda Guerra Mundial ya que se incrementó la densidad poblacional en las grandes urbes, así como el exponencial incremento de la Industrialización, en ambos casos exigiendo altos estándares en la calidad del recurso hídrico [2].

Por lo cual la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su documento del 2018, Desarrollo de Regulaciones y Estándares para la calidad del Agua Potable, (DRECAP) [3] establece las siguientes clasificaciones generales para evaluar la calidad del agua, Parámetros Microbiológicos, Parámetros Químicos y Parámetros Radiológicos. Dentro de estas clasificaciones se mencionan algunos indicadores generales que exponen el estado de la calidad del recurso Hídrico que coinciden con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 [1]. Los principales indicadores son: Coliformes, pH, Turbidez, Temperatura, Metales, DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

Los requisitos para la calidad del agua se establecen de acuerdo con el uso que se le va a destinar, juzgando el grado en el cual el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos. En este artículo nos concentraremos en la Turbidez ya que es un indicador básico de la potabilidad del agua y que está estrechamente relacionado con sedimentos, minerales, sarro, sabores, olores, colores etc, que influyen directamente en la calidad del agua de consumo humano, elaboración de bebidas, procesamiento de alimentos y fabricación de textiles.

2. Desarrollo

Descripción de la Turbidez

La turbidez en agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos. Los parámetros permitidos de turbidez de acuerdo con la OMS para consumo humano no deben superar en ningún caso las 5 NTU (Nephelometric Turbidity Unit), y estar idealmente por debajo de 1 NTU [1].

Turbidimetría

Es una técnica basada en la dispersión de un haz de luz a través de una muestra acuosa por la cual se mide la disminución de la transmitancia del haz de luz al atravesar dicha muestra. El prototipo propuesto se muestra en la (figura 1) y opera bajo este principio. Se tiene un elemento generador de luz incidente, el cual proyecta un haz de luz a través de una muestra líquida en la cual se encuentran partículas sólidas suspendidas, la dispersión ocasionada por los sólidos suspendidos reduce la potencia lumínica, la cual es registrada por un elemento foto sensible con el cual se genera una diferencia de voltaje. Este voltaje es filtrado y acondicionado por un circuito electrónico el cual nos da una señal analógica la cual es procesada e interpretada, en este caso por un sistema embebido [7].



Figura 1: Principio de Operación de la turbidimetría.

Diseño y Construcción del Prototipo

a) Sensor SEN0189: Este prototipo utiliza como base los parámetros del sensor SEN0189 de la Marca DFRobot del cual podemos resaltar las siguientes características [5]:

- Voltaje de operación: 5V.
- Corriente máxima de operación: 40 mA.
- Tiempo de respuesta: <500 ms.
- Salida: Analógica rango de operación 0-4.5 V
- Salida digital disparo High/Low Ajustable.
- Rango temperatura de operación: 5 a 90 °C.

Para la interconexión del sensor se tienen 3 pines los cuales son pin 1 GND. (negro), Pin 2 Datos (amarillo) y Pin 3 Alimentación (rojo).

b) Arduino Nano: El Arduino Nano está basado en el microcontrolador ATmega328. Tiene una entrada mini-USB a través de la cual puede ser alimentado (5V) además de funcionar como interfaz entre el IDE para la carga del código fuente. Viene con 14 puertos digitales de entrada/salida y 8 puertos analógicos, una memoria de 16 KB, 1 KB de SRAM y 512 bytes de EPROM. Su ClockSpeed es 16 MHz.

Funciona con un voltaje que puede estar en el rango de 7 a 12 voltios. Entrega una corriente de 40 mA [4], (ver tabla 1).

Tabla 1. Arduino nano pines.

/images/boletin70/cyt/turbiagu2.jpg

Cabe mencionar que sus dimensiones y su disponibilidad en el mercado nos hicieron inclinarnos hacia esta tecnología.

c) LCD 16X2: Para mostrar la información proveniente del sensor, se utilizó un display LCD16x2 con Retro Iluminación el cual tiene las siguientes características [6], (ver tabla 2). Las cuales son suficientes para la aplicación.

Tabla 2. LCD 16x2 pines.

/images/boletin70/cyt/turbiagu3.jpg

Diagrama Esquemático

Una vez identificados los pines de alimentación, tierra y datos se hace la conexión del sensor SEN0189 con el circuito acondicionador de señal el cual estabiliza y filtra la señal analógica proveniente del sensor. Finalmente se conecta al microcontrolador arduino nano donde se hace el procesamiento de la señal ya filtrada. Desde el IDE de arduino se genera el código para la rutina de calibración, medición y presentación de los datos en la pantalla del display. (ver figura 3).

Se utilizó un switch on/off para el encendido del sistema. La alimentación total del circuito es mediante una batería de 9V conectada al pinVin de arduino el cual a su vez alimenta a los dispositivos periféricos con 5V por medio de su regulador interno y finalmente cuenta con un LED indicador de encendido D1 conectado al pin digital 1 con una resistencia de protección.

Lógica de Programación

Para la programación se utilizó la IDE de arduino con la siguiente estructura lógica:

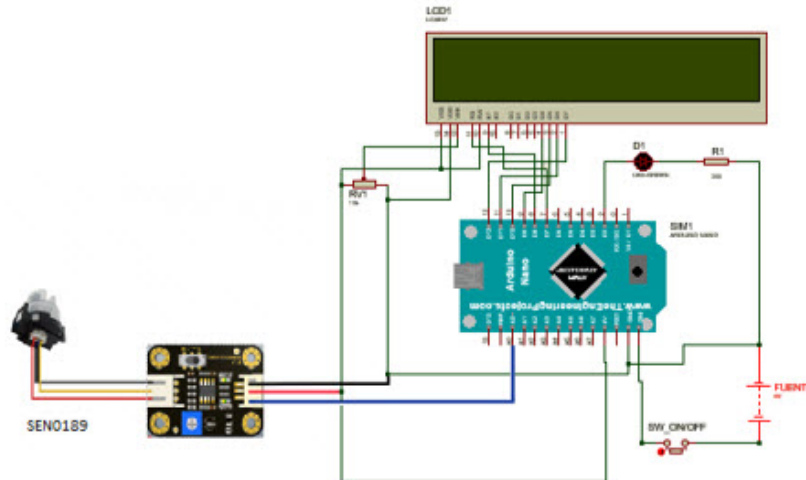


Figura 2: Principio de Operación de la turbidimetría.

1. Lectura de valores analógicos pin (A0) donde establecemos un tiempo de muestreo.
2. Parametrización de valores de entrada. Se establece una función para asignar rangos a los datos analógicos para así pasar a su equivalente en NTUs.
3. Una vez obtenidas las NTUs se estructura el formato para su presentación.
4. Utilizando la Librería LiquidCrystal se presenta en el Display la información medida desde el sensor.

3. Calibración

Para la calibración del prototipo se consultó la literatura y las especificaciones del fabricante del sensor [8]. Donde la resolución de la entrada analógica del microcontrolador tiene un rango de voltaje de 0 a 5 V. y el convertidor analógico-digital tiene un rango de valores enteros de 0 a 1023, esto nos daría una resolución entre lecturas de $5.0 \text{ V}/1024$ unidades, expresadas en términos de voltaje tendríamos $.0049 \text{ V}$ (4.9 mV), este voltaje relacionado con el polinomio característico establecido en las especificaciones del sensor SEN0189 (ver figura 5) se tendría su equivalencia de voltaje en NTUs.

4. Pruebas

A falta de un instrumento comercial con el cual comparar las pruebas realizadas se establecieron patrones experimentales, para esto se utilizaron diferentes soluciones acuosas con distintos niveles de turbidez. Para establecer la nula turbidez ó 0 unidades NTU se consideró una muestra de agua destilada la cual nos arrojó un valor de 0.5 NTUs el cual es un valor casi nulo de Turbidez, que corresponde con un voltaje medido físicamente con un multímetro de 4.12 V. Recordemos que a mayor turbidez menor señal de Voltaje tendremos como respuesta; Lo siguiente fue medir el rango máximo de turbidez que nos puede dar el sensor, con una solución de agua destilada con café al máximo de saturación la cual fue cerca de las 3000 NTUs lo cual corresponde a 2.4 V. Asimismo se realizaron otras pruebas, las cuales arrojaron valores próximos a los que establece la norma oficial; cabe destacar que dichos valores también se aproximaron a los reportados en la curva característica del sensor (ver figura 5) consultada en la literatura [5]. En la tabla 3 se resumen los resultados obtenidos, donde se puede apreciar que el rango de medición del dispositivo va de 0-3000 NTUs.

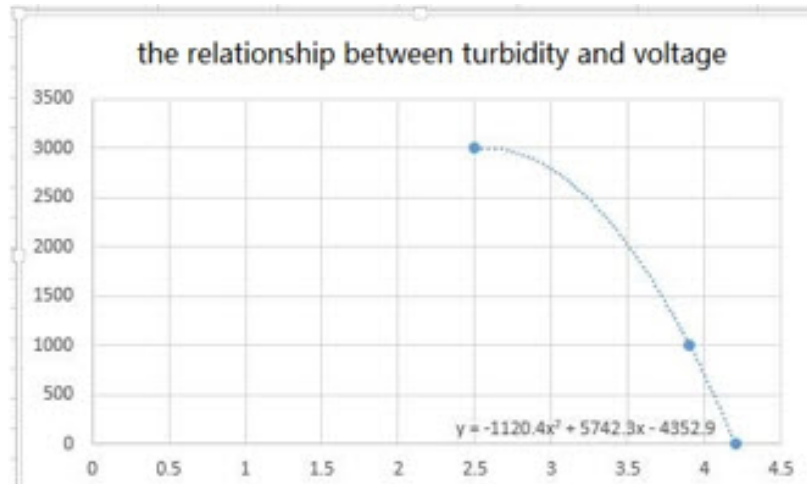


Figura 3: Curva característica turbidez vs voltaje

Tabla 3. Resultados obtenidos

/images/boletin70/cyt/turbiagu6.jpg

5. Conclusiones

Haciendo una serie de pruebas al prototipo se obtuvieron resultados muy favorables, en la relación voltaje y unidades de turbiedad (NTUs), arrojados por el sensor SEN0189 ya que en las pruebas físicas presentaron una gran similitud con las pruebas teóricas previamente calculadas. Sin embargo, también se deja la posibilidad de ser escalado o ajustado de acuerdo con las necesidades del usuario. Por la flexibilidad de la tecnología propuesta, se dejan abiertas varias posibilidades para ser desarrolladas usando este prototipo como base. Para la presentación de datos al usuario se utilizó un display LCD, pero este proyecto también nos permitiría la integración a un sistema de monitoreo continuo, o a una red de censo de variables, ya que como pudimos atestiguar cuenta con una velocidad de muestreo lo suficientemente buena para este fin. Podemos concluir que mediante la tecnología aquí propuesta se puede desarrollar un instrumento portable de costo asequible con suficiente precisión y confiabilidad para el monitoreo de la Turbidez del agua potable.

6. Referencias

1. Norma Oficial Mexicana (año) *NOM-127-SSA1-1994*:<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
2. Glynn Henry, Gary W.Heinke (1999)*Ing. Ambiental* 2ed. Editorial Pearson.

3. *Developing Drinking-Water Quality Regulations* <http://apps.who.int/>
4. **(2018)** *Turbidity sensor SKU: SEN0189 Specifications Características Arduino* disponible en: https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189.
5. *Library LiquidCrystal*: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HelloWorld>.
6. **(2018)** *Turbidez* disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Turbidez>
7. *The Relationship between turbidity and voltage*: <https://www.dfrobot.com>
8. <http://apuntescientificos.org/preparacion-colo-qbp.html>