

Instituto Politécnico Nacional
Escuela superior de cómputo



Profesor: Ortega Gonzales Ruben

Materia: Instrumentación

Grupo: 3CM11

***Diseño de sensores inteligentes para el monitoreo del agua
en tiempo real.***

Equipo 5

Integrantes:

- ❖ Vargas Sánchez Miguel Angel
- ❖ Ramirez Benitez Brayan
- ❖ Hernández Velázquez Emmanuel Alejandro
- ❖ Rodriguez Reyes Ulises Saúl
- ❖ Roldán Gómez Juan

Fecha: 15 / diciembre / 2021

Índice

<i>Índice</i>	2
Resumen	3
Introducción	3
<i>Conceptos Básicos</i>	5
3.1 Potencial de Hidrógeno	5
3.2 Flujo del agua	5
3.3 Conductividad del agua	6
3.4 Potencial de Óxido - Reducción	6
<i>Diagramas de bloques</i>	7
<i>Diseño de los sensores</i>	8
5.1 Sensor de flujo	8
5.2 Sensor de temperatura	8
5.3 Sensor de conductividad	9
5.4 Sensor de pH	9
5.5 Sensor ORP	10
<i>Diseño de los circuitos</i>	10
6.1 Sensor de flujo	10
6.2 Sensor de temperatura	11
6.3 Sensor de conductividad	12
6.4 Sensor de pH	14
6.5 Sensor ORP	15
6.6 Módulo de medición y notificación	15
6.7 Presentación de datos	16
6.8 Software Utilizado	17
<i>Resultados de las simulaciones</i>	17
7.1 Sensor de temperatura	17
7.2 Sensor de conductividad	18
7.3 Sensor de pH	19
7.4 Sensor ORP	19
<i>Resultados experimentales</i>	20
8.1 Sensor de flujo	20
8.2 Sensor de temperatura	20
8.4 Sensor de pH	21
8.5 Sensor ORP	22
<i>Conclusiones</i>	22
<i>Referencias</i>	23

1. Resumen

En nuestra vida diaria ingerimos agua en pocas o grandes cantidades, en el hogar, la escuela, el trabajo, etc. El agua es un elemento de vital importancia al que no se le presta la atención adecuada, en ocasiones solo tomamos agua cuando sabemos que es potable, pero ¿Qué tan potable es? Por este motivo, se propone desarrollar el trabajo presentado en el artículo “Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring” (Cloete, 2016) el cual nos permitirá medir la calidad del agua haciendo uso de diversos sensores, mediante los cuales se obtendrán datos que nos permiten mostrar un resultado, indicando si el agua es potable o no, para posteriormente tomar las medidas adecuadas.

2. Introducción

El agua es esencial para la vida siendo indispensable para la salud y el bienestar humano preservando el medio ambiente. A pesar de ello, no todos los seres humanos cuentan con servicios de sanidad y/o de alguna fuente de agua potable. Implicando en millones de personas alrededor del mundo mueren por enfermedades relacionadas con un mal abastecimiento de agua, un deficiente saneamiento o una inadecuada higiene, por lo que debe tener ciertos límites en cuanto a las características microbiológicas, físicas, químicas, radiactivas y organolépticas. El agua potable es aquella que no contiene agentes infecciosos que causan efectos nocivos a la salud. Por lo que, la higiene y suciedad en el agua implica que enfermen o hasta llegar a padecer un número importante de personas debido a factores en función de la falta de higiene. Tanto la escasez como la baja calidad del agua y un saneamiento deficiente afectan negativamente a la seguridad de los alimentos y las opciones de sustento.

Más allá de cubrir las necesidades básicas del ser humano, el abastecimiento de agua y los servicios de saneamiento, así como el uso que hacemos de los recursos hídricos, son factores determinantes para un desarrollo sostenible. Mientras que en algunas partes del mundo, el agua constituye la principal fuente de energía, en otras se desaprovecha casi totalmente su potencial energético. También resulta indispensable para la agricultura y forma parte de numerosos procesos industriales y, en muchos países, supone el principal medio de transporte.

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, siendo uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. La importancia del agua, el saneamiento y la higiene para la salud y el desarrollo han quedado reflejados en los documentos finales de diversos foros

internacionales sobre políticas, entre los que cabe mencionar conferencias relativas a la salud. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud 1100 millones de personas no tienen acceso a una fuente de agua potable, las comunidades rurales no poseen mantenimiento y tratamiento previo al agua, a causa de que su calidad no pueda ser mejorada o adecuada para su abastecimiento.

La calidad del agua no es una medida absoluta, existen normas de calidad pero para evaluarla hay que tomar en cuenta el contexto con la que se va utilizar, dependiendo el uso se determina que estándar de calidad se podrá utilizar.

Existen distintas maneras de medir la calidad del agua, en el campo se utilizan diversos instrumentos que permiten analizar la información que obtienen a través de muestras, algunas variables son: el pH, potencial óxido-reducción, temperatura, conductividad, entre otras. En el campo suelen utilizarse gran parte de estos instrumentos, debido a que puede tener mayor impacto en los cultivos, sin embargo la medición de tan solo algunas variables son esenciales para valorar la calidad del agua que llega a nuestros hogares, debido a que el agua que recibimos pasa por ciertos tratamientos, lo que ayuda a reducir el número de variables a medir, aun así estas deben pasar por ciertas normas y directrices que determinan su uso particular.

3. Conceptos Básicos

3.1 Potencial de Hidrógeno

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H^+). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidas. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado. La escala de pH es logarítmica, por lo que cada cambio de la unidad del pH en realidad representa un cambio de diez veces en la acidez. En otras palabras, pH 6.0 es diez veces más ácido que el pH 7.0; pH 5 es cien veces más ácido que el pH 7.0.

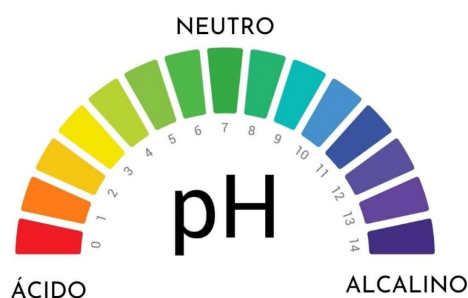


Figura 1. Escala de pH.

En general, un agua con un $pH < 7$ se considera ácido y con un $pH > 7$ se considera básica o alcalina. El rango normal de pH en agua superficial es de 6,5 a 8,5 y para las aguas subterráneas 6 – 8.5. La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para resistir un cambio de pH que tendría que hacerse más ácida.

3.2 Flujo del agua

También conocida como caudal, es una medida del movimiento por unidad de volumen de una sustancia, es decir, el volumen de agua que atraviesa una superficie en una unidad de tiempo. Es uno de los parámetros más importantes en la mecánica de fluidos. Esta definición es válida para cualquier tipo de fluido, si bien el fluido utilizado en el ámbito de la ventilación es el aire. Normalmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos.

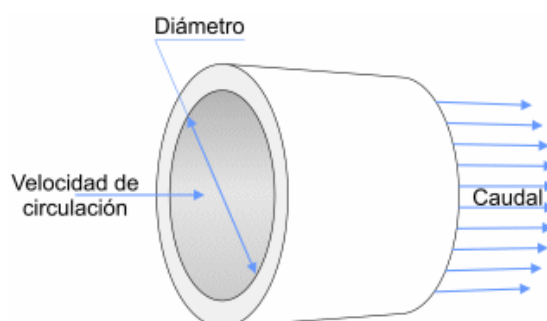


Figura 2. Flujo del agua.

3.3 Conductividad del agua

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia para permitir el flujo de electrones a través de ella. Se mide en Siemens por metro. Normalmente en el agua, esta conductividad está asociada a la cantidad de metales disueltos en ella, por lo que, a menor conductividad, más pura es el agua.

La resistencia del agua se mide utilizando dos o cuatro electrodos con una constante de celda conocida. Las constantes de celda suelen oscilar entre aproximadamente $0,1 \text{ cm}^{-1}$ y 10 cm^{-1} , donde mayor las constantes de celda funcionan de manera más efectiva para soluciones de conductividad más alta. Para determinar la resistencia entre los electrodos, se aplica un voltaje a través de los electrodos.

3.4 Potencial de Óxido - Reducción

El potencial Redox (ORP) es una medida efectiva de medir la energía química de oxidación-reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica, la cual se utiliza para conocer el saneamiento del agua potable, se expresa en milivoltios – mV – y nos informa sobre el potencial de oxidación o de reducción. En realidad es una medida de la actividad del electrón comparada con la actividad del electrodo de referencia, que mantiene siempre el potencial constante. No es necesaria la compensación de temperatura en la medición del potencial Redox. Se podría decir que el valor es análogo al pH, pues este mide la actividad de los protones y el potencial redox mide la de los electrones.

La palabra potencial se refiere a la capacidad en lugar de la acción. La energía potencial es la energía almacenada y lista para ponerse en acción. Dicha energía no está en acción, pero sabemos que existe y que está lista para cuando se la necesita. Cuando hayan reaccionado todos los materiales oxidantes y reductores, se alcanza el equilibrio y suele haber un sobrante. Este sobrante es lo que crea el potencial de oxidación o de reducción en una solución.

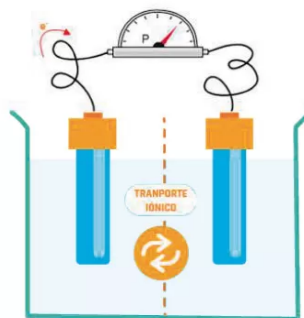


Figura 3. ORP

4. Diagramas de bloques

A continuación, se muestran los diagramas de bloques para el proyecto.

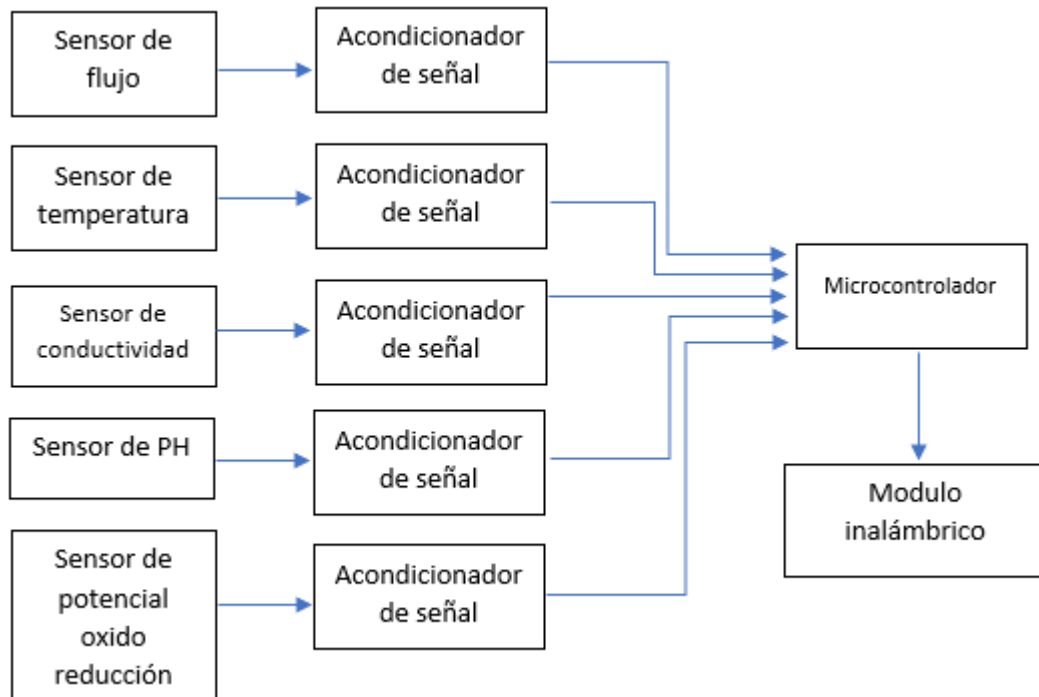


Figura 4. Diagrama de bloques del módulo de medición y detección.

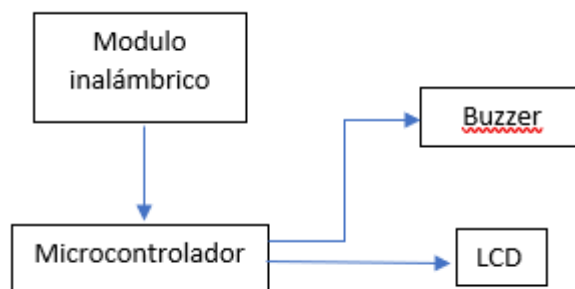


Figura 5. Diagrama de bloques del módulo de notificación.

5. Diseño de los sensores

En esta sección mostramos el diseño de los distintos sensores para el desarrollo del proyecto.

5.1 Sensor de flujo

El flujo de agua en una tubería generalmente se mide en litro por minuto o litros por hora. Existe una gran cantidad de diseños para sensores de flujo como un rotámetro, medidor de flujo magnético, medidor de flujo de turbina y un medidor de flujo de tubo venturi. En el artículo se utiliza el caudalímetro de turbina, que es capaz de realizar lecturas digitales, además que es fácil de encontrar y económico. Este medidor de flujo de turbina traduce la acción mecánica de una turbina giratoria dentro de la tubería en medidas comprensibles.

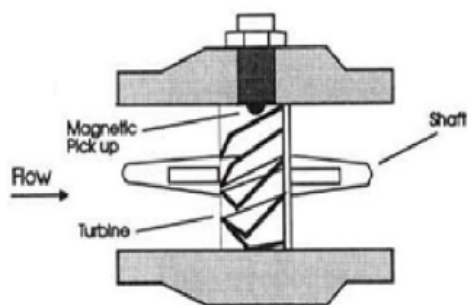


Figura 6. Caudalímetro de turbina.

5.2 Sensor de temperatura

Para medir la temperatura se utiliza un sensor, existen varios tipos de sensores de temperatura como el termopar, termistor o sensor de temperatura de estado sólido. En el artículo se considera un termistor ya que tiene un mejor control de diseño. Los termistores se utilizan generalmente para aplicaciones por debajo de 300 °C y, por lo tanto, serían suficientes para un sistema que funciona a temperatura ambiente. El voltaje medido es proporcional a la temperatura con un coeficiente de temperatura negativo (NTC) o un coeficiente de temperatura positivo (PTC). Esta correlación no es lineal, especialmente para regiones de gran temperatura, pero se puede compensar con la ecuación de Steinhart-Hart. Los termistores son económicos y se utilizan ampliamente para muchos tipos de aplicaciones debido a su pequeño tamaño y precisión razonable.



Figura 7. Termistor.

5.3 Sensor de conductividad

Como ya mencionamos, la conductividad del agua es un indicador de la cantidad de iones y/o electrones que fluyen libremente, los cuales están presentes para la conducción de electricidad. Normalmente se mide en siemens por metro S/m. El sensor de conductividad está diseñado utilizando el método de dos electrodos, con una resistencia, voltaje y corriente conocidos. Para el artículo, los autores consideraron el método de dos electrodos, ya que es más fácil de mantener y económico.



Figura 8. Sensor de conductividad.

5.4 Sensor de pH

Recordemos que el pH del agua es un parámetro importante a controlar puesto que los niveles de pH altos y bajos pueden tener efectos peligrosos en la salud. Y como mencionamos en los conceptos básicos el pH de una solución puede oscilar entre 1 y 14. Un método para medir el pH es mediante el uso de un electrodo de vidrio convencional con una configuración de electrodo de referencia. En el artículo el sensor de pH consiste en un electrodo de vidrio convencional, ya que estos electrodos son más confiables y económicos para el monitoreo a largo plazo. Es importante mencionar que el electrodo de pH actúa como una batería de una sola celda y existe una correlación directa entre la salida de voltaje del electrodo y el pH del agua medida.



Figura 9. Sensor de electrodo pH.

5.5 Sensor ORP

Los electrodos de ORP son bastante similares a los electrodos de pH y, por lo tanto, a veces se combinan en un sensor combinado. El ORP se mide en milivoltios (mV). El electrodo de ORP utiliza una solución de referencia y un electrodo diferentes que el sensor de pH, generalmente KCL Ag / Ag-Cl. Sin embargo, requirió acondicionamiento de señal para interactuar con el microcontrolador.



Figura 10. Sensor ORP.

6. Diseño de los circuitos

6.1 Sensor de flujo

Los medidores de flujo requieren una fuente de voltaje de 5 a 12 V. Los pulsos de salida producidos por el sensor de efecto Hall adjunto son normalmente el mismo voltaje que el de la fuente proporcionada. Este voltaje está limitado a 3.3 V para que pueda interactuar con el microcontrolador. Un búfer de ganancia unitaria con un diodo Zener de 3.3 V se utiliza para limitar el voltaje como se muestra en la imagen.

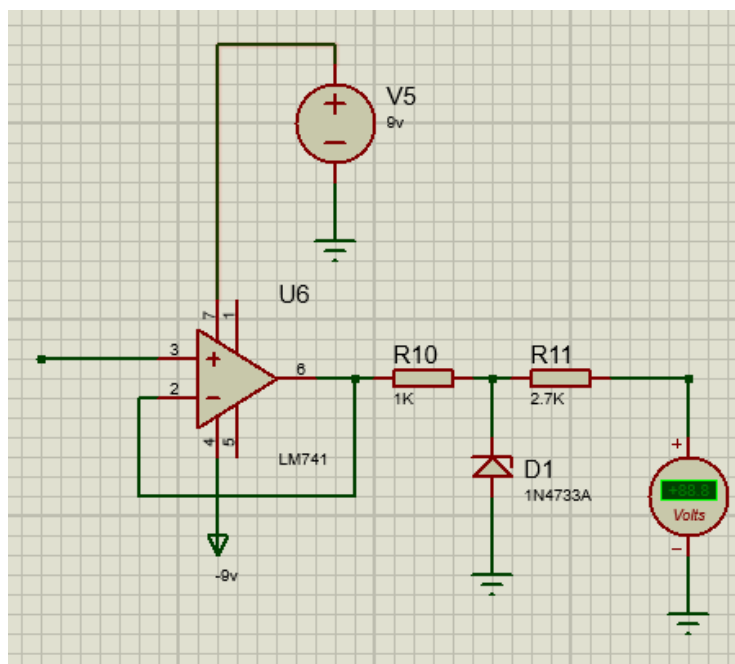


Figura 11. Circuito de acondicionamiento de señal para el sensor de flujo.

En la imagen, R10 se elige una resistencia relativamente baja para asegurar que el diodo Zener recibe suficiente corriente para permanecer en avería inversa. Cuanto menor sea la resistencia más cerca de que el voltaje del diodo Zener llega a alcanzar el valor especificado cortocircuito. Por lo tanto, incluso si se elige un poco R10 también alto, el voltaje de salida solo será ligeramente inferior a 3.3 V, que no es un problema para este diseño. La corriente requerida por el diodo Zener se especifica en la hoja de datos del fabricante y normalmente está entre 1 y 5 mA.

6.2 Sensor de temperatura

Los termistores son útiles hasta temperaturas de 300 °C, por lo que el rango operativo más pequeño ayuda a contrarrestar la no linealidad. Sin embargo, la resistencia se puede escalar utilizando la forma general del termistor Steinhart-Hart de tercer orden aproximación:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3$$

Donde T es la temperatura en Kelvin y R la medida resistencia en ohms. A, B y C son constantes específicas del fabricante.

Para el sensor de temperatura el rango que se considera para la monitorización es de 0 a 40 °C. El diseño del circuito del termistor consta de un voltaje constante de entrada conocido y una resistencia en serie (con un valor conocido como divisor de voltaje). El voltaje leído a través del termistor se alimenta con un amplificador operacional para ajustar la ganancia. Esto condiciona la medición de voltaje para la conversión de analógico a digital en el microcontrolador.

El objetivo de este circuito es leer el potencial del termistor y condicionar la señal de 0 a un rango de voltaje compatible con el ADC de 3,2 V. 3,2 V se elige como el VADC_{MAX}, ya que el microcontrolador está limitado a 3,3 V en sus pines de entrada.

El divisor de voltaje, creado con R1 y el termistor se utiliza para medir el voltaje a través del termistor. El termistor tiene un Resistencia a 25 °C. La configuración del amplificador operacional permite que el voltaje producido por el voltaje divisor anule el desplazamiento en el voltaje de salida, dando una salida de 0 a 3,2 V.

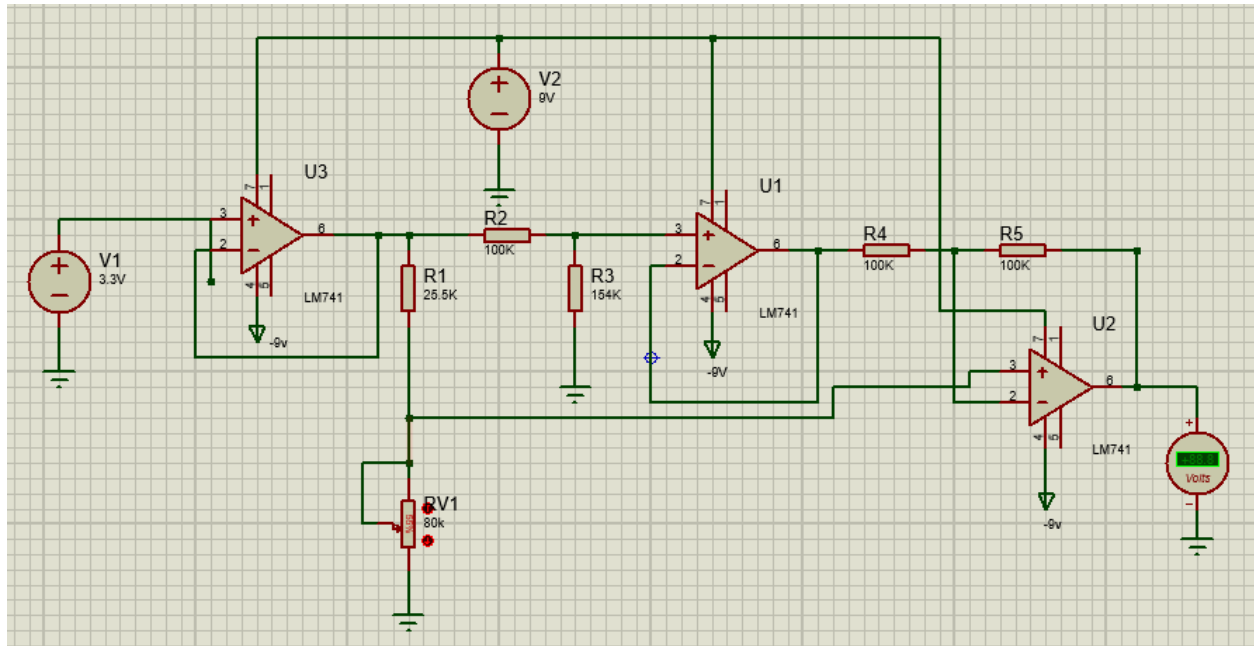


Figura 12. Circuito del sensor de temperatura.

6.3 Sensor de conductividad

El voltaje leído en el divisor de voltaje entre la resistencia en serie y la celda de conductividad no tiene una relación lineal con la resistencia de la celda de conductividad. Por lo tanto, se elige la resistencia en serie de forma que la relación pueda ser aproximada usando una línea de tendencia polinomial de segundo orden. Con el cálculo de la división de voltaje, se eligió una resistencia de 65 k Ω .

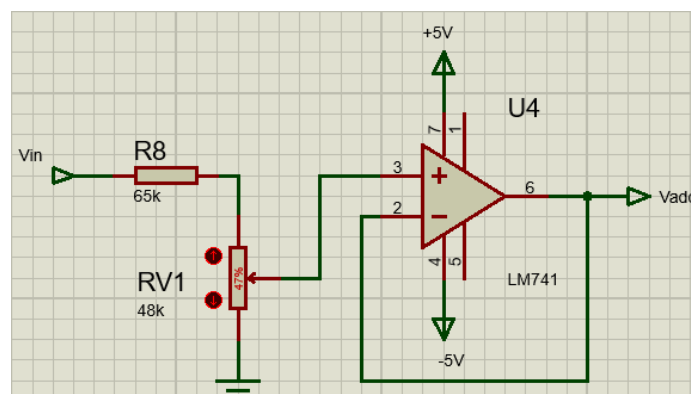


Figura 13. Divisor de voltaje de la celda de conductividad.

Para que el voltaje de salida del divisor de voltaje sea legible (por los microcontroladores del módulo ADC), la señal se debe convertir primero de corriente alterna a corriente directa. Para esto se usa un rectificador de onda completa; se eligió una configuración activa con amplificadores operacionales, como diodos

reales tienen una caída diodo hacia adelante y una pequeña corriente inversa. Los amplificadores operacionales se pueden utilizar con diodos para crear mejores propiedades y limitar las influencias no deseadas. El capacitor C1 es necesario para evitar la oscilación.

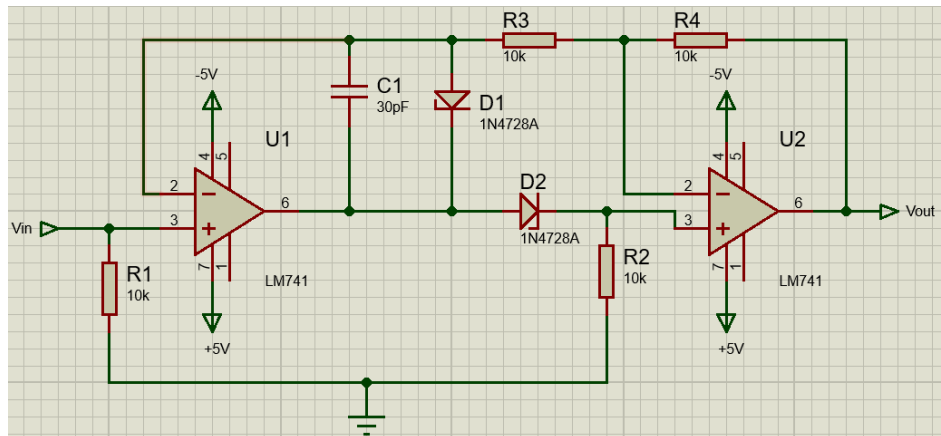


Figura 14. Rectificador de onda completa.

Luego la señal pasa a través de un filtro pasa bajas para completar esta conversión de corriente alterna a continua.

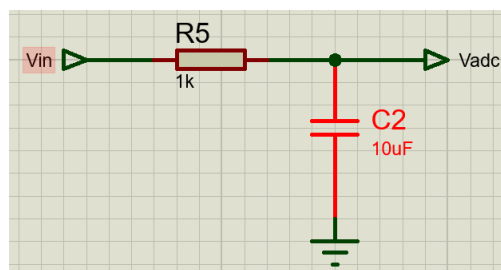


Figura 15. Filtro pasa bajas.

La señal continua producida es luego alimentada al módulo ADC después de que se haya limitado a un máximo de 3.3 V. Esto es posible mediante el uso de un circuito limitador de voltaje basado en diodos Zener. La razón del limitador de voltaje es que cuando la conductividad alcanza los 0 S/cm (0 Siemens por centímetro), la resistencia llega al infinito y el voltaje medido puede llegar a 4 V. La conductividad depende de la temperatura y se compensa en el software utilizando la lectura del sensor de temperatura.

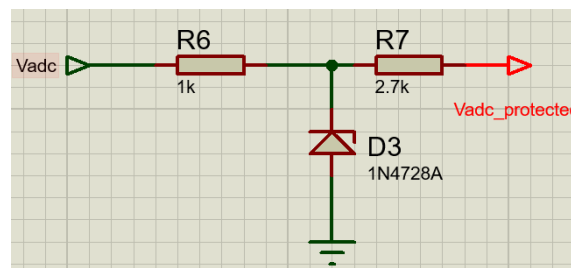


Figura 16. Limitador de voltaje del diodo zener.

6.4 Sensor de pH

El voltaje típico de la salida del electrodo varía de -430 mV a +430 mV.

THE VOLTAGE AND PH INDICATORS

Voltage	pH
VOUT = 0 V	pH = 7
VOUT > 0 V	pH < 7
VOUT < 0 V	pH > 7

El electrodo de pH ideal lo podemos ver en la tabla donde si el ph es menor a 7 se considera un líquido ácido, por el contrario, si el ph es mayor a 7 se considera un alcalino y si el pH es 7 se considera neutro. Cabe señalar que el pH depende de la temperatura, entonces los autores aplicaron una compensación para la cual se utiliza la ecuación que vemos en pantalla.

$$pH_C = pH - ((T - T_0) \cdot (pH_0 - pH) \cdot 0.003)$$

El voltaje de salida del electrodo se convierte en un rango de 0 a 3,2 V para que pueda interactuar con el microcontrolador. Para lograr este resultado se amplifica el voltaje de salida y se aplica una compensación. En la imagen, U2 representa el amplificador operacional responsable de amplificar la señal y U3 representa el amplificador operacional responsable de la compensación.

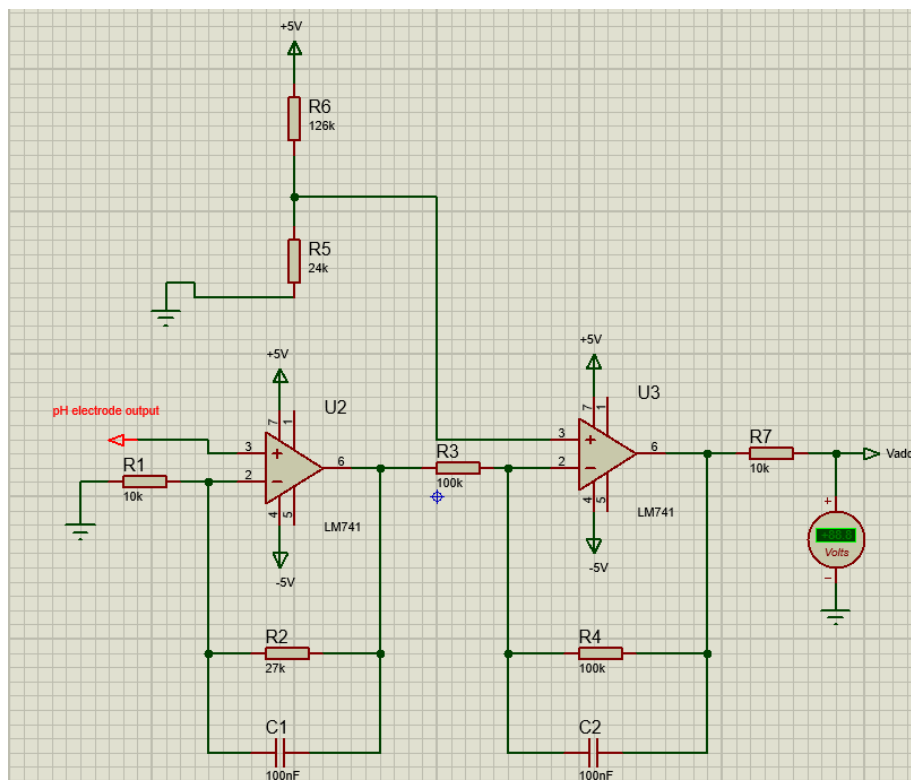


Figura 17. Circuito de acondicionamiento de señal para el sensor de ph.

6.5 Sensor ORP

Ahora podemos observar el circuito simulado para el sensor del potencial de óxido - reducción, de hecho, la implementación de este diseño es muy similar a la del diseño del sensor de pH. Esto se debe a que el electrodo ORP también puede verse como una batería de una sola celda con una resistencia muy alta.

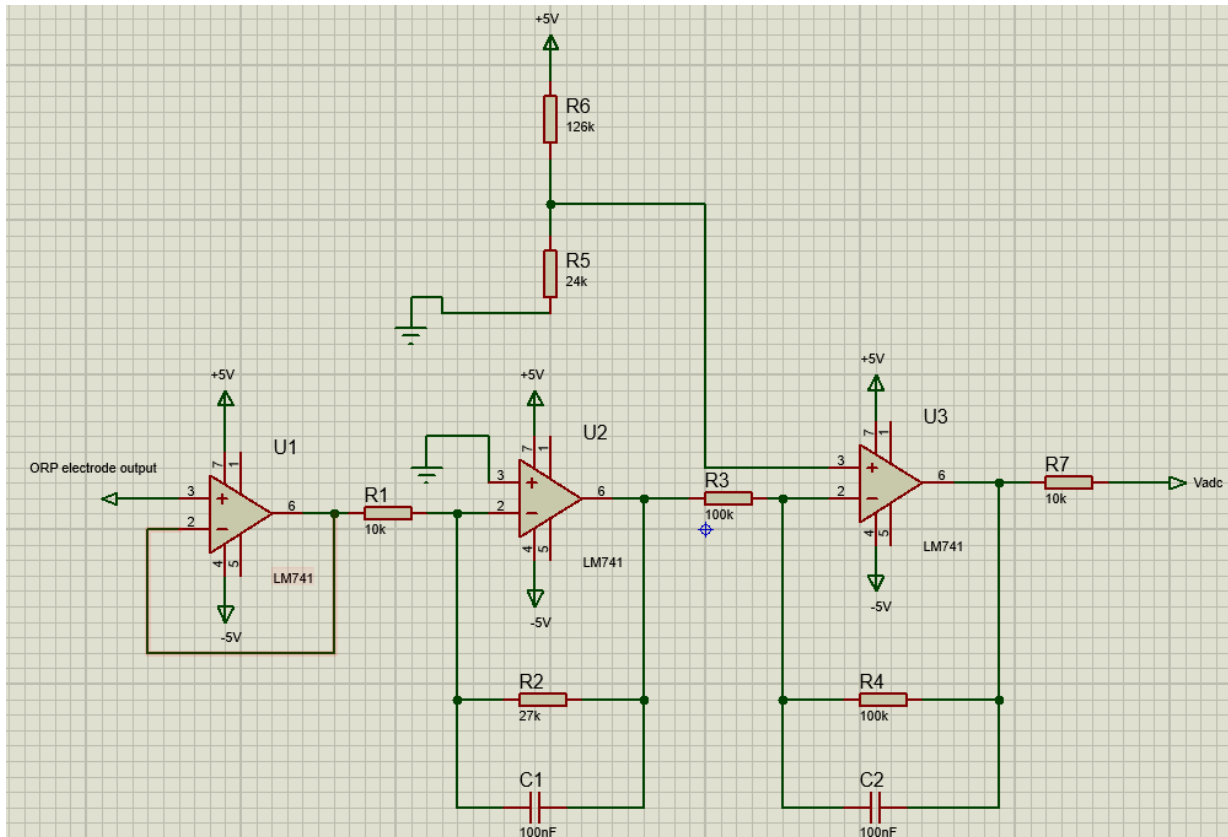


Figura 18. Circuito de acondicionamiento de señal para el sensor ORP

La salida de voltaje típica varía de -2V a +2V. La diferencia con el electrodo de ORP es que el voltaje de salida es igual al ORP del valor del agua. La gama de 4 V presenta un problema ya que es demasiado alto para el microcontrolador. Por tanto, la amplitud es reducida y se aplica una compensación similar a la del electrodo de pH (1,6 V). En la imagen, U1 representa el amplificador operacional responsable de reducir la amplitud de la señal y U2 representa el amplificador operacional responsable del desplazamiento.

6.6 Módulo de medición y notificación

El módulo de medición consta de un PIC32MX220F032B. Este nodo se compone principalmente de conversión, análisis y transmisión de datos basados en software.

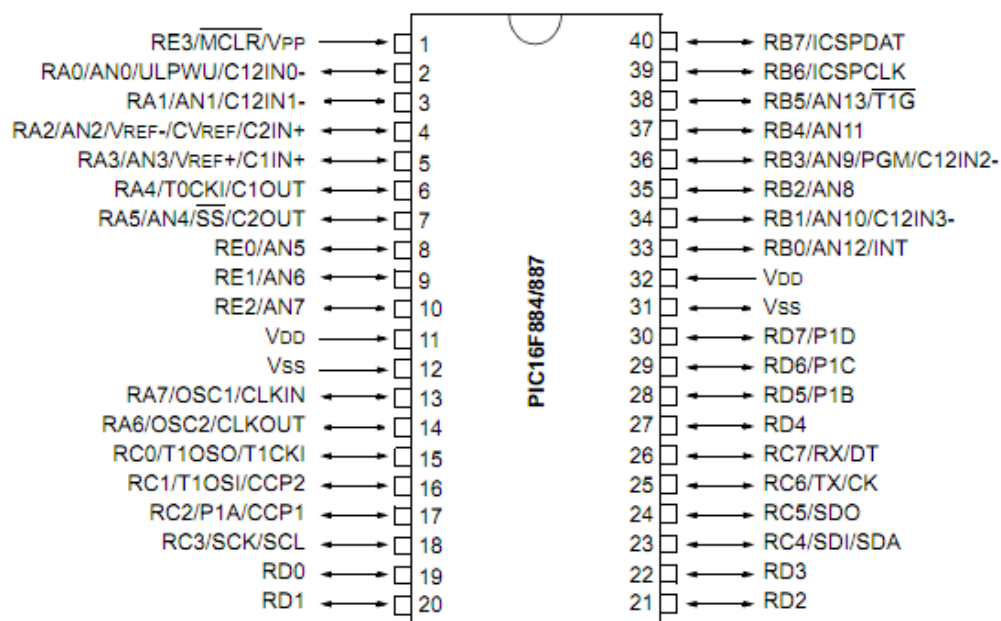


Figura 19. Pines para el ADC del pic.

6.7 Presentación de datos

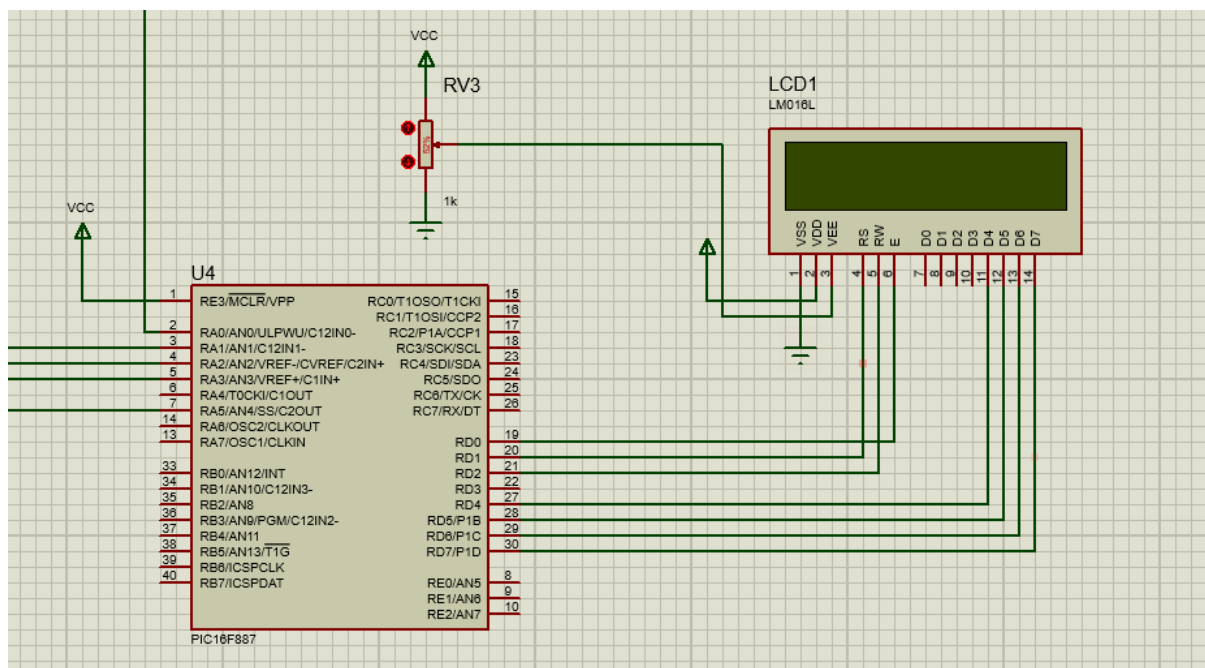


Figura 20. PIC16F887 y LCD.

6.8 Software Utilizado

Para este proyecto utilizaremos PIC C Compiler, el cual es un inteligente y muy optimizado compilador C que contienen operadores estándar del lenguaje C y funciones incorporados en bibliotecas que son específicas a los registros de PIC, proporcionando a los desarrolladores una herramienta poderosa para el acceso al hardware las funciones del dispositivo desde el nivel de lenguaje C.

El compilador CCS contiene más de 307 funciones integradas que simplifican el acceso al hardware, mientras que la producción eficiente y altamente optimizado código. Se incluyen funciones de hardware del dispositivo de características tales como:

- ❖ Temporizadores y módulos PWM
- ❖ Convertidores A / D
- ❖ de datos on-chip EEPROM
- ❖ LCD controladores
- ❖ Memoria externa buses
- ❖ Entre otras



Figura 21. PIC C Compiler.

7. Resultados de las simulaciones

Después del diseño de los distintos subsistemas, sus funciones se simularon mediante el software PROTEUS.

7.1 Sensor de temperatura

Las simulaciones para el sensor de temperatura se muestran en la siguiente imagen, donde se representa el voltaje a través del termistor. Para esta simulación se realiza un barrido del mínimo hasta el máximo voltaje calculado, es decir de 0,983 V a 2,406 V. La salida esperada del amplificador operacional U1 debe leer de 0 a 2,85 V como se especifica en el diseño. Se puede observar que el rango de voltaje de salida es aproximadamente de 0 a 2,85 V.

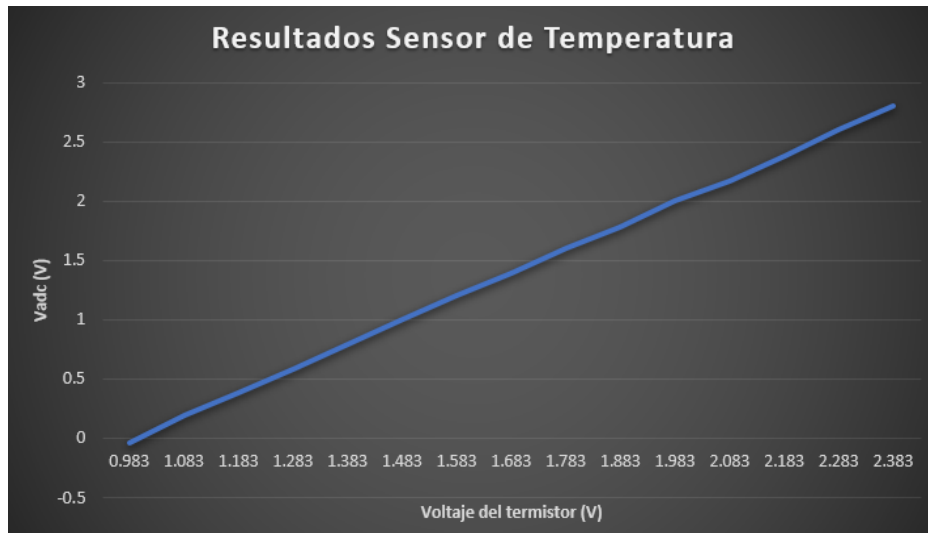


Figura 22. Gráfica resultados del sensor de temperatura.

7.2 Sensor de conductividad

El voltaje en la celda de conductividad (que se ve como una resistencia variable) está representado. El cual emite una onda cuadrada por el rectificador de onda completa. Luego, la señal pasa a través del filtro pasa bajas que efectivamente suaviza la señal de Corriente Continua producida. En la siguiente imagen, una señal de Corriente Alterna de alto voltaje se convierte en una señal de Corriente Continua.

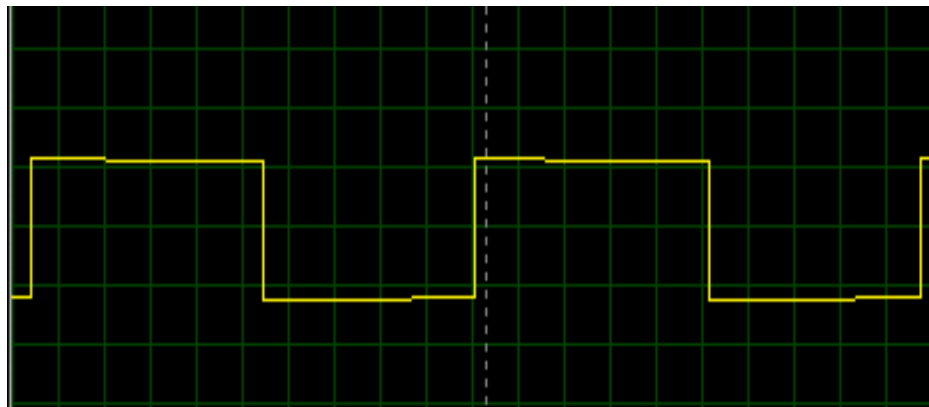


Figura 23. Gráfica resultados del sensor de conductividad.

El osciloscopio está ajustado de forma que cada cuadrado tiene valor de 1 V, por lo que el pulso es aproximadamente de 2.2 V y el periodo es de 1 ms.

7.3 Sensor de pH

Para el sensor de pH podemos observar la gráfica de los resultados que obtuvimos. Graficamos la salida de voltaje del electrodo de pH varía de -430 mV a 430 mV y el voltaje de salida que es de 0 V a 3.2 V. Los resultados efectivamente coinciden con los del artículo.

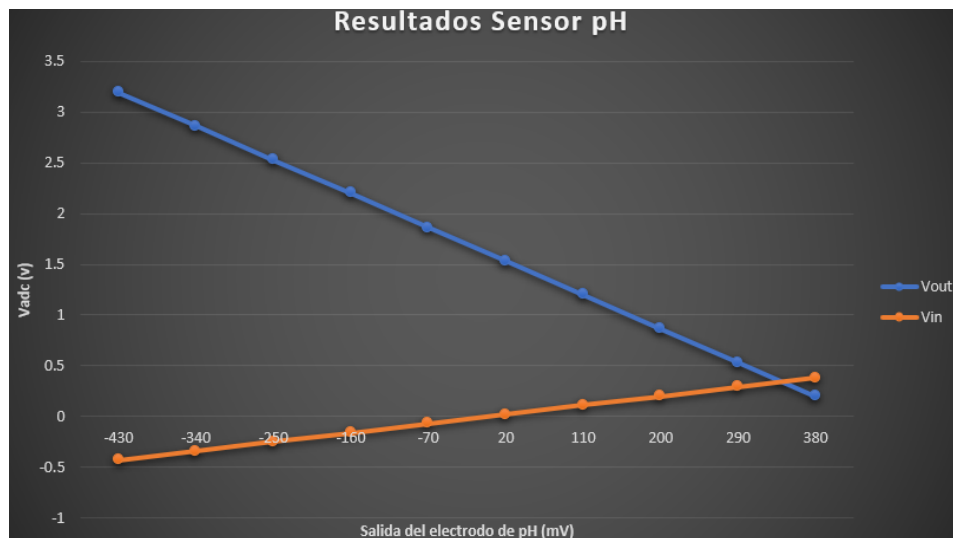


Figura 24. Gráfica resultados del sensor de pH.

7.4 Sensor ORP

Ahora para el sensor de ORP tenemos la gráfica de los resultados que obtuvimos. Graficamos la salida de voltaje del electrodo de ORP varía de -2V a 2V y la salida esperada que es de 0 V a 3,2 V. De manera similar los resultados también coinciden con el artículo.

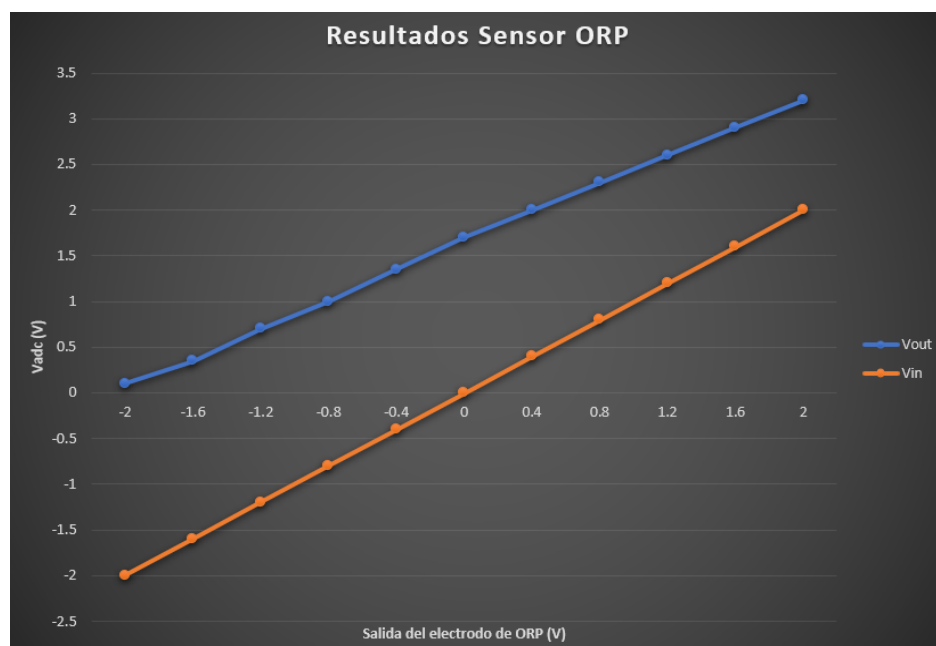


Figura 25. Gráfica resultados del sensor ORP.

8. Resultados experimentales

Para este trabajo se ejecutaron varias configuraciones experimentales para determinar qué tan bien funcionó el sistema.

8.1 Sensor de flujo

Los resultados de la prueba de acondicionamiento de señal se muestran en la siguiente figura, muestra el flujo simulado en el circuito de acondicionamiento de señal frente a la medición de flujo calculada en el microcontrolador. El flujo se simuló mediante una función generadora. Los resultados muestran que la diferencia promedio entre el caudal simulado y el caudal medido fue del 0,28% y la diferencia máxima fue del 6,28%. La precisión disminuye a medida que disminuye el flujo. El máximo error es de 6.28% el cual está dentro de la precisión requerida del 25%.

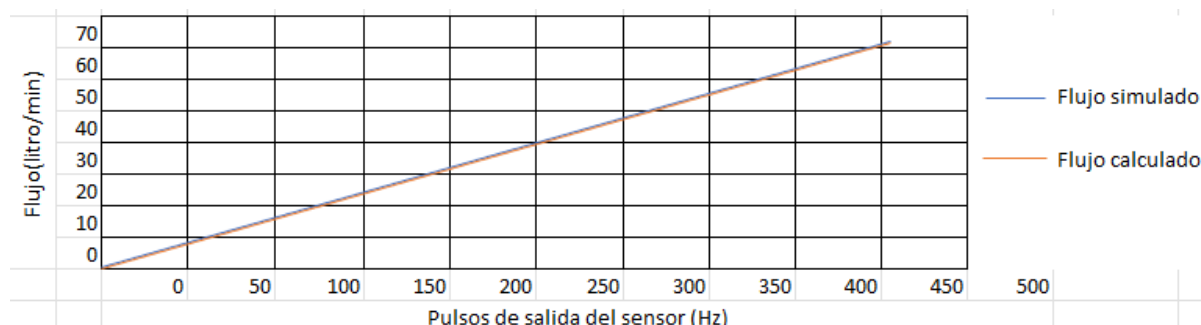


Figura 26. Resultados del acondicionamiento de la señal de flujo.

8.2 Sensor de temperatura

Los resultados del acondicionamiento de señales se muestran en la siguiente figura. En donde comparamos la temperatura simulada en el acondicionamiento de señales circuito versus la medición de temperatura calculada en el microcontrolador. Se observó que La diferencia media entre la temperatura teóricamente simulada y la temperatura medida fue de 0,66 °C, la máxima La diferencia fue de 2.5 °C. El resultado de la prueba de acondicionamiento de señal indicó que el requisito de precisión de 2 ° C transgredió en un punto de datos en el borde inferior del rango de temperatura (acercándose a 0 ° C).

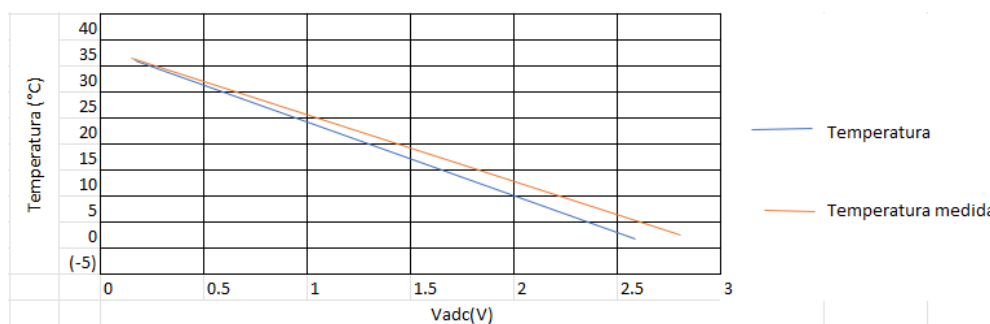


Figura 27. Resultados del acondicionamiento de la señal de temperatura.

Los resultados del sensor de temperatura se muestran en la siguiente figura. Se observó que la diferencia promedio entre la temperatura de muestra y temperatura sensor fue de 0.071°C , y la diferencia máxima fue de 1°C . Los resultados de la prueba del sensor de temperatura indican que la precisión para el rango de prueba estuvo dentro de los 2°C .

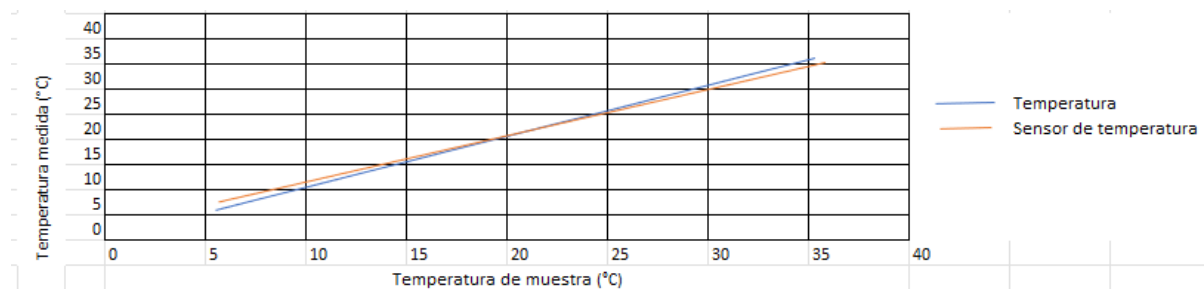


Figura 28. Resultados del sensor de temperatura.

8.4 Sensor de pH

Los resultados de la prueba de acondicionamiento de señal se dan en la siguiente figura y muestran el pH simulado en la señal circuito de acondicionamiento versus la medida de pH calculada en el microcontrolador. El pH se simuló con un recortador con una configuración del potenciómetro como divisor de voltaje, los resultados muestran que la diferencia promedio entre el pH simulado y el pH medido fue de 0.016, el máximo diferencia fue de 0,51, y 1 de los 24 puntos de datos en el rango probado estaba fuera de la precisión requerida de 0.4. Además, se puede observar que el requisito de precisión de $\pm 0,4$ fue transgredido en un punto de datos con un error de 0,51. Este error se produjo en el borde más alto del rango de pH (acercándose a un pH de 14).

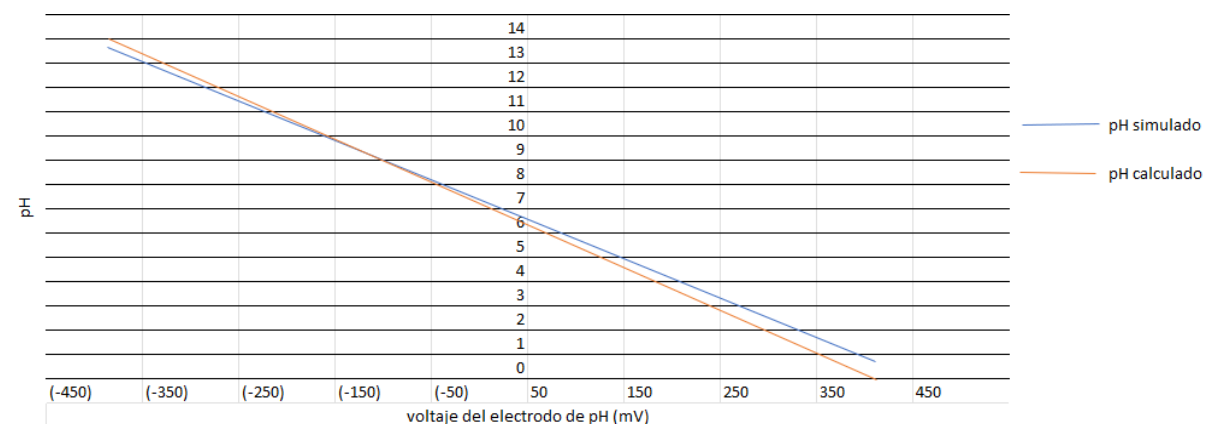


Figura 29. Resultados del acondicionamiento de la señal de pH.

8.5 Sensor ORP

Se probó la precisión del circuito de acondicionamiento de señal junto con los valores calculados en el microcontrolador. Los resultados de la prueba de acondicionamiento se dan en la siguiente figura y el ORP simulado en el circuito de acondicionamiento de la señal frente a la medición de ORP calculada en el microcontrolador. El ORP se simuló con un recortador potenciómetro configurado como divisor de voltaje. Fue posible observar que la diferencia promedio entre los teóricamente ORP simulado y ORP medido fue de 3,98 mV, y la diferencia máxima fue de 24,14 mV en el borde del positivo la distancia del resultado de la prueba de acondicionamiento de señal se puede ver que no se transgredió el requisito de precisión de ± 25 mV. El error máximo se produjo en el borde más alto de la Rango de ORP (aproximándose a 2000 mV).

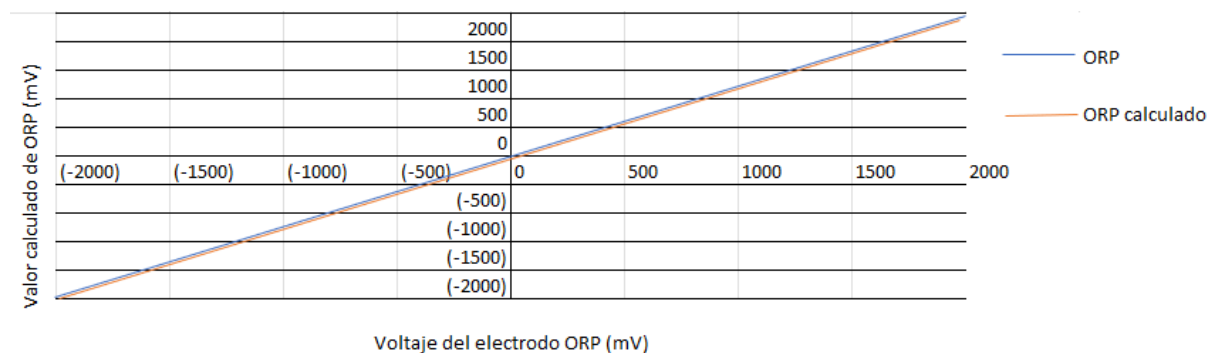


Figura 30. Resultados del acondicionamiento de la señal ORP.

9. Conclusiones

Para el desarrollo de este proyecto se diseñó e implementó un nodo sensor que incluye el sensor de temperatura, pH, ORP y flujo, los cuales incluyen sus respectivos circuitos de acondicionamiento de señal. Como indican los autores del artículo el sensor de temperatura se implementó utilizando un diseño basado en un termistor, el sensor de pH arrojó resultados aceptables, al igual que el sensor de flujo. Además, el acondicionamiento de la señal del sensor de ORP en su conjunto fue un éxito y tuvo una precisión bastante aceptable. También, se implementó un nodo de medición que consta de un microcontrolador para procesar los datos de los sensores en valores de medición utilizables, luego, el microcontrolador transmitió las mediciones a un LCD. De manera similar se implementó un nodo de notificación que básicamente consta de un microcontrolador y un LCD como interfaz de usuario para mostrar los diferentes parámetros de calidad del agua. Por otra parte, la precisión del sensor de temperatura es de aproximadamente 2.7 °C, el sensor de flujo aproximadamente 6.30%, el sensor de pH de más menos 0.55 y el sensor ORP de más menos 25 mV. En general los datos de todos los sensores se procesaron

correctamente, se logró la comunicación entre los nodos de medición y notificación, además, los parámetros del agua se mostraban claramente en la pantalla LCD.

Como podemos ver a lo largo de este trabajo se logró duplicar los resultados que obtuvieron los autores de este proyecto y se pudo corroborar a través de las gráficas que realizamos. Nos damos cuenta que en algunos casos hay pequeñas diferencias que son despreciables, ya que el simulador no cuenta con todos los elementos que se ocupan en el proyecto por lo que tuvimos que hacer modificaciones propias para simular el funcionamiento. Sin embargo podemos decir que los resultados fueron exitosos ya que los valores fueron los mismos y en algunos casos muy cercanos.

10. Referencias

- N. A. Cloete, R. Malekian and L. Nair, "*Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring*," in IEEE Access, vol. 4, pp. 3975-3990, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2592958.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*, accessed on Nov 15, 2021. [Online]. Available: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf