

# TRANSDUCTOR INTELIGENTE PARA MEDICIÓN DE SULFUROS EN AGUAS RESIDUALES

Marco Alirio González Capera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías (ECBTI)  
Programa de: Ingeniería Electrónica  
Cead José Acevedo y Gómez  
Bogotá D.C.  
2.017

TRANSDUCTOR INTELIGENTE PARA MEDICIÓN DE SULFUROS EN AGUAS  
RESIDUALES

Marco Alirio González Capera

Tesis de grado para optar al título de ingeniero electrónico

Director de proyecto  
Néstor Javier Rodríguez García  
Ingeniero electrónico

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)  
Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías (ECBTI)  
Programa de: Ingeniería Electrónica  
Cead José Acevedo y Gómez  
Bogotá D.C.  
2.017

## **Dedicatoria**

A mí querida mamá, María Agustina: Recordando que los anhelos, como el bienestar, se logran invirtiendo tiempo con paciencia, intensa labor, sobreponiéndose a contrariedades, pero ante todo con mucha fe, agregando entusiasmo. Qué este logro de recompensa y felicidad personal para mí, sea, un homenaje para ti.

## **Reconocimiento**

A mi familia, en especial a mis hermanas Yolanda González, y Alicia González.

Al director de mi proyecto de grado, ingeniero Néstor Javier Rodríguez García.

Al director inicial de mi proyecto de grado, creador de la red de instrumentación inteligente para el tratamiento y descontaminación de aguas, ingeniero Orlando Harker Sánchez.

Al ingeniero Edward Sánchez, profesional del laboratorio de electrónica de la sede nacional de la UNAD, por su inmensa cooperación.

Al ingeniero Harold Esneider Pérez director de los programas de ingeniería: Electrónica, sistemas y telecomunicaciones, en la UNAD por sus buenos oficios administrativos para darle marcha al proyecto.

A los profesionales de laboratorio: Hasbleidi Buitrago, Bernardo Castro, Lina Espitia, y Claudia Piñarete, encargados de los multipropósitos en química, y sistemas principalmente, de la sede nacional, por sus amables servicios prestados.

En general a todo el personal de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), que me han colaborado durante todos estos años (de cursar la carrera, opción de trabajo para grado, y proyecto de grado) para alcanzar esta meta.

## Índice general

<b>Tabla de contenido</b>	<b>Página</b>
Índice de figuras, tablas, y anexos.....	VII
Resumen.....	IX
Capítulo 1: Planteamiento del problema de investigación.....	1
1.1. Título del proyecto de investigación.....	1
1.2. Problema de investigación.....	1
1.3. Objetivos generales y específicos.....	1
1.3.1. Objetivo general.....	1
1.3.2. Objetivos específicos.....	1
1.4. Justificación del proyecto.....	2
1.5. Contextualización del marco referencial.....	2
1.6. Metodología a utilizar.....	3
Capítulo 2: Marco teórico.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Marco referencial.....	6
2.3. Marco conceptual.....	7
2.3.1. Etapa teórica electrónica del proyecto.....	7
2.3.1.1. <i>Estándares IEEE 1451</i> .....	7
2.3.1.2. <i>Transductor inteligente</i> .....	8
2.3.1.3. <i>Transductor</i> .....	9
2.3.1.4. <i>Procesador</i> .....	9
2.3.1.5. <i>Interfaz de comunicación</i> .....	9
2.3.1.6. <i>Funciones de un transductor inteligente</i> .....	10
2.3.1.7. <i>Transductor enmarcado en sistemas DAD</i> .....	10
2.3.1.8. <i>Procesador a utilizar durante el proyecto</i> .....	12
2.3.1.9. <i>Tarjeta Arduino mega 2560</i> .....	12
2.3.1.10. <i>Amplificador operacional</i> .....	18
2.3.1.11. <i>Diagrama de bloques funcional del transductor inteligente (T.I.)</i> .....	20
2.3.1.12. <i>Puente de Wheatstone</i> .....	26
2.3.1.13. <i>Programación mediante lenguajes de alto nivel</i> .....	27
2.3.1.14. <i>Lenguaje de programación para Arduino</i> .....	28
2.3.1.15. <i>Circuito integrado TL082</i> .....	29
2.3.1.16. <i>Circuito integrado LF353</i> .....	29
2.3.1.17. <i>Electrodo para pH HI 1230B</i> .....	30
2.3.1.18. <i>Sensor de temperatura PT100</i> .....	31
2.3.2. Etapa teórica química del proyecto.....	32
2.3.2.1. <i>Características de los sulfuros</i> .....	32
2.3.2.2. <i>Tratamiento químico del agua residual en la ciudad</i> .....	33
2.3.2.3. <i>Molaridad de una solución</i> .....	34
2.3.2.4. <i>Normalidad de una solución</i> .....	34
2.3.3. Etapa teórica electroquímica del proyecto.....	35
2.3.3.1. <i>Calculo de la concentración de sulfuros por medio de un electrodo para pH</i> .....	36
Capítulo 3: Marco metodológico.....	41

3.1. Tipo de investigación experimental correlacional .....	41
3.2. Establecimiento de las hipótesis .....	41
3.3. Selección del diseño apropiado de investigación .....	42
3.4. Determinación de la población y la muestra.....	42
3.5. Recolección de datos.....	42
3.5.1. Linealización de gráficas.....	43
3.5.2. Puente de Wheatstone con el sensor PT100 .....	43
3.5.3. Gráficas obtenidas con datos del sensor PT100 .....	44
3.5.4. Mediciones de pH, milivoltios, y concentración, con el HI 1230B .....	58
3.5.5. Mediciones agregando el amplificador hecho con el CI TL082 .....	58
3.5.5.1. Mediciones de ácido clorhídrico (HCl) con amplificador hecho con el CI TL082.....	61
3.5.5.2. Mediciones de hidróxido de potasio (KOH) con amplificador hecho con el CI TL082.....	63
3.6. Curvas características hechas con mediciones de sulfuros .....	66
3.6.1. Mediciones de ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S) con amplificador hecho con el CI TL082.....	67
3.7. Análisis de datos.....	70
3.7.1. Realización de la lectura por parte del transductor inteligente (T.I.) .	72
3.7.2. Circuito .....	73
3.7.3. Montaje.....	74
3.7.4. Código .....	75
3.8. Etapa de validación .....	77
3.9. Resultados y conclusiones .....	78
3.9.1. Errores absoluto y relativo en las mediciones de la práctica definitiva .....	79
3.9.2. Tabla obtenida para la presentación de los resultados .....	80
3.9.3. Conclusiones del proyecto de investigación.....	81
3.9.4. Sugerencias consecuentes del proyecto de investigación .....	82
Anexos .....	- 1 -
Referencias bibliográficas.....	- 7 -

**Índice de figuras, tablas, y anexos**

	Página
Figura 1 .....	8
Figura 2 .....	17
Figura 3 .....	18
Figura 4 .....	20
Figura 5 .....	27
Figura 6 .....	29
Figura 7 .....	30
Figura 8 .....	31
Figura 9 .....	31
Figura 10 .....	37
Figura 11 .....	38
Figura 12 .....	39
Figura 13 .....	43
Figura 14 .....	46
Figura 15 .....	47
Figura 16 .....	48
Figura 17 .....	49
Figura 18 .....	50
Figura 19 .....	51
Figura 20 .....	53
Figura 21 .....	54
Figura 22 .....	55
Figura 23 .....	56
Figura 24 .....	57
Figura 25 .....	58
Figura 26 .....	59
Figura 27 .....	61
Figura 28 .....	62
Figura 29 .....	63
Figura 30 .....	64
Figura 31 .....	65
Figura 32 .....	66
Figura 33 .....	68
Figura 34 .....	69
Figura 35 .....	70
Figura 36 .....	72
Figura 37 .....	73
Figura 38 .....	74
Figura 39 .....	75
Figura 40 .....	78

	Página
Tabla 1 .....	36
Tabla 2 .....	37
Tabla 3 .....	38
Tabla 4 .....	44
Tabla 5 .....	45
Tabla 6 .....	46
Tabla 7 .....	47
Tabla 8 .....	48
Tabla 9 .....	50
Tabla 10 .....	51
Tabla 11 .....	52
Tabla 12 .....	52
Tabla 13 .....	53
Tabla 14 .....	54
Tabla 15 .....	55
Tabla 16 .....	56
Tabla 17 .....	57
Tabla 18 .....	60
Tabla 19 .....	60
Tabla 20 .....	61
Tabla 21 .....	61
Tabla 22 .....	62
Tabla 23 .....	63
Tabla 24 .....	64
Tabla 25 .....	65
Tabla 26 .....	67
Tabla 27 .....	67
Tabla 28 .....	68
Tabla 29 .....	69
Tabla 30 .....	72
Tabla 31 .....	80

	Página
Anexo 1 .....	- 1 -
Anexo 2 .....	- 4 -
Anexo 3 .....	- 5 -
Anexo 4 .....	- 6 -

## Resumen

El transductor a diseñar en el proyecto consiste en un dispositivo cuya funcionalidad es medir la cantidad de sulfuros presentes en las aguas residuales. Cuenta con un procesador el cual contiene un microcontrolador, que recibe señales provenientes de unos sensores incorporados para tal fin. Esto se logra haciendo mediciones de naturaleza electroquímica dentro de los líquidos analizados. La alimentación del dispositivo se obtiene mediante una batería recargable de 12V a 3,4mAh, con el fin de obtener un producto final portátil. Se usa una pantalla LCD 20x04 que permite visualizar los resultados de las respectivas mediciones obtenidas para su estudio y análisis de datos.

La metodología del proyecto de investigación se cimienta en el reconocimiento de un hecho en particular, realizando su estudio a través del método científico, consiguiendo de esta manera unos resultados provechosos, que terminarán con nuevos conocimientos o principios generales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en Bogotá carecen de herramientas tecnológicas suficientes para contrarrestar la presencia de contaminantes químicos en las muestras que sacan de este líquido. La problemática principal es la contaminación de las fuentes hídricas de las zonas aledañas, a los ríos y quebradas de la ciudad la cual se genera por el inadecuado manejo de toda la cantidad de residuos sólidos que se producen.

(González, 2017).

Se busca la transmisión de datos a través de una interfaz de comunicaciones. Los estándares IEEE 1451 separan los diseños de red, de los diseños de los transductores inteligentes para que los fabricantes centren sus esfuerzos especializándose en uno de los dos sistemas, y no en ambos, con el objetivo de optimizar las características funcionales alcanzando bienestar en prestaciones como: Encapsulado, instrumentación, velocidad, transmisión, comunicación, recolección de datos, etc. Los estándares IEEE 1451 se enuncian en el apartado siguiente.

- IEEE 1451.0: Protocolos de comunicaciones en red. Funciones comunes. Hojas de datos electrónicos del transductor (TEDS).
- IEEE 1451.1: Procesador de aplicaciones con capacidad de red (NCAP).
- IEEE 1451.2: Transductor con procesador, con formatos TEDS, y con protocolos de comunicación.
- IEEE 1451.3: Funcionamiento para sistemas multipunto.
- IEEE 1451.4: Protocolos de comunicación en modo mixto.
- IEEE 1451.5: Protocolos de comunicación inalámbrica.

- IEEE P1451.6: Etapa de acople entre el transductor y el NCAP mediante la red CAN open.<sup>1</sup>
- IEEE P1451.7: Presenta una interfaz entre los transductores y los sistemas RFID. RFID significa Sistema de Identificación por Radiofrecuencia.  
(Wobschall, 2007).

---

<sup>1</sup> CAN open: Es una arquitectura de red para intensificar la velocidad de transmisión al trabajar con solo tres capas de protocolo de comunicaciones.

## **Capítulo 1: Planteamiento del problema de investigación**

### **1.1. Título del proyecto de investigación**

Transductor inteligente para medición de sulfuros en aguas residuales.

### **1.2. Problema de investigación**

Todos los métodos de tratamiento de aguas residuales buscan eliminarle contaminantes determinados, tal como son los sulfuros. Por la razón expuesta se hace necesario un elemento de instrumentación electrónica, que realice este proceso, el cual se denomina transductor inteligente (T.I.). El diagnóstico de este problema lo han extractado los diseñadores del proyecto, de fuentes como lo son los estudios científicos que al respecto se han publicado en internet, libros, y revistas. Es necesaria la activación del transductor inteligente para controlar la variable que permite el aumento de los sulfuros en aguas residuales, situación que si no se evalúa periódicamente será cada vez más nociva a medida que transcurra el tiempo.

La pregunta de investigación en torno de la cual se desarrolla el presente proyecto es la siguiente: ¿Es posible controlar la cantidad de sulfuros presentes en forma de concentración, dentro de una muestra de agua residual con un transductor inteligente medidor de este contaminante?

(González, 2017).

### **1.3. Objetivos generales y específicos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un transductor inteligente para medición de sulfuros en aguas residuales.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Establecer las condiciones de diseño del transductor inteligente enmarcado en las normas IEEE 1451.
- Modelar el comportamiento del contaminante sulfuro para su acondicionamiento con el transductor inteligente.

- Diseño del prototipo transductor para el contaminante sulfuro con base a las normas IEEE 1451.

#### **1.4. Justificación del proyecto**

El proyecto se justifica teniendo como principio básico el que todo el avance científico, y tecnológico de los tiempos actuales debe estar destinado a suplir las necesidades de los sistemas de recolección y tratamiento de las aguas residuales. En el caso concreto del transductor medidor de sulfuros, se pretenden solucionar problemas de una forma más versátil mejorando cada vez más decididamente la labor de inspección en este tipo de proceso. Al optimizar estos servicios se conseguirá una aplicación adicional en el área de la ingeniería electrónica que busca la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía en general.

(González, 2017).

#### **1.5. Contextualización del marco referencial**

Un transductor inteligente es un dispositivo que se encarga de convertir señales de una naturaleza a una señal de otra naturaleza, agregándole a esto un elemento adicional electrónico, tal como lo es un microcontrolador. Los transductores inteligentes (se caracterizan por la autocalibración, autodiagnóstico e identificación de variable y de instrumento) presentan mejoras en los datos de precisión, al mismo tiempo que optimizan los tiempos de respuesta produciendo lecturas confiables. Esto se debe a que internamente llevan un comparador que mide la información proporcionada por los sensores emitiendo una señal resultado de la suma de señales de entrada. La visualización se realiza mediante dispositivos de salida, de los cuales es preciso destacar, pantallas o tableros que muestran una información entendible por el usuario.

El monitoreo y tratamiento de las aguas residuales se centra en el uso de tecnologías que permitan su descontaminación. Una de esas tecnologías de monitoreo consiste en el uso de herramientas tal como los transductores que están basados en magnitudes como el potencial de hidrogeno (pH) con el cual se hace un análisis cuantitativo de ciertas sustancias presentes en el líquido. El electrodo se introduce en la muestra de agua a analizar y entrega un valor de potencial que es proporcional al logaritmo de la concentración de los iones sulfuros que hay en la muestra.

La norma IEEE 1451, que rige el marco referencial de este proyecto, presenta las características de sensores y transducción dando un referente de los parámetros según el modelo y la aplicación. Los transductores para medición de sulfuros en aguas residuales, tienen una salida de voltaje que se acondiciona en amplitud y frecuencia para llevar esta salida a la entrada análoga del controlador.

(Lucerna, 2004).

## 1.6. Metodología a utilizar

La metodología de este proyecto se lleva a cabo mediante la realización de etapas o fases bien definidas, en las cuales se han desarrollado los elementos constitutivos del total del trabajo. Cada una de estas etapas se denomina para el caso presente, como un paso del método científico. Según los autores: Roberto Sampieri Hernández, Carlos Fernández Collado, y Pilar Baptista Lucio, (plasmados en su libro “Metodología de la investigación”) los pasos del método científico son los siguientes, con aplicación al presente proyecto de investigación:

- Paso 1: Concebir la idea de la investigación

El proyecto tiene como idea central una red de instrumentación inteligente para realizar funciones de control y monitoreo en muestras de aguas residuales.

- Paso 2: Plantear el problema de investigación

Mediante los objetivos que son: Diseñar un transductor inteligente para medición de sulfuros en aguas residuales, establecer las condiciones de diseño del transductor inteligente enmarcado en las normas IEEE 1451, modelar el comportamiento del contaminante sulfuro para su acondicionamiento con el transductor inteligente, diseño del prototipo transductor para el contaminante sulfuro con base a las normas IEEE 1451. Junto con el desarrollo de la pregunta de investigación: ¿Es posible controlar la cantidad de sulfuros presentes en forma de concentración, dentro de una muestra de agua residual con un transductor inteligente medidor de este contaminante? Y además con la justificación del proyecto descrita en la página anterior.

- Paso 3: Elaboración del marco teórico
- Paso 4: Definición del tipo de investigación

El proyecto quedaría enmarcado en el concepto de investigación experimental, debido a que se realizan experimentos, y mediciones de dos (2) o más variables para llegar a un diseño prototípico. Se procede al estudio del efecto producido por las variables independientes que son temperatura y concentración a las variables dependientes que son pH y diferencia de potencial o voltaje.

- Paso 5: Establecer las hipótesis

Las variables del proyecto son la concentración de sulfuros, el pH, la temperatura, y la diferencia de potencial (voltaje).

La concentración es la cantidad de sulfuro disuelta en una muestra de agua.

El pH es el grado de acidez o basicidad de una sustancia.

La temperatura es la medida de la cantidad de calor que posee un cuerpo.

La diferencia de potencial es la cantidad de voltaje que produce un flujo de corriente eléctrica.

- Paso 6: Selección del diseño apropiado de investigación

Es un diseño de investigación experimental, clasificado como experimento puro, donde se hace la medición del efecto que produce la variable concentración de sulfuros sobre las variables pH y diferencia de potencial.

- Paso 7: Determinación de espacios muestrales

El tipo de muestra es simple con un recipiente que contiene agua residual. Su tamaño varía de entre 0,2L a 1L de volumen aproximadamente. La selección de la muestra se hizo con dependencia al experimento que fuera a realizarse.

- Paso 8: Recolección de datos

El instrumento de medición es el transductor inteligente (T.I.).

Su validez y confiabilidad se expresa en el capítulo tres (3) correspondiente de este documento.

La codificación de datos se representa dentro del marco metodológico de este documento.

Los datos arrojados por las mediciones, dentro de las diferentes prácticas que se llevaron a cabo para el proyecto se presentan en el capítulo tres (3) correspondiente de este documento.

Los análisis se hicieron con base a estos datos.

- Paso 9: Análisis de datos

Para el presente proyecto se hicieron mediciones con el fin de calcular los valores de calibración de los diferentes sensores. El transductor inteligente (TI), construido por los diseñadores consta de un sensor de temperatura de referencia PT100, con el cual se tomaron datos no solo de temperatura sino también de voltaje haciendo aumento y disminución de temperatura dentro de los líquidos agua, y aceite de manera separada. Para el sensor de pH con referencia HI1230B se hicieron mediciones, también en dos (2) sustancias diferentes que son representantes de los ácidos y las bases. En ambos casos los datos se emplearon para el trazado de curvas características de comportamiento dentro de gráficas de modelamiento. Las gráficas, los estudios estadísticos, y las conclusiones basados en los datos se presentan en el capítulo tres (3) del presente documento.

- Paso 10: Presentación de resultados

La presentación de los resultados del proyecto, una vez que es incorporada la medición con el producto final (transductor inteligente), se presenta en la sección final denominada "resultados y conclusiones".

(Sampieri, Collado, Lucio, & Pérez, 2003).

## Capítulo 2: Marco teórico

El proyecto para su desarrollo se basa en cuatro pilares fundamentales, tal como son: Estado del arte, implementación, instrumentación, y programación. El estado del arte se considera es la base teórica investigada, con aplicación a el proyecto; En esa medida se encuentran significados, conceptos y definiciones encaminadas a clarificarle al lector muchos aspectos que le resultan incomprensibles, por no estar familiarizado con los términos de la ingeniería. La culminación práctica, tangible, del proyecto, es la parte observable que consta de un transductor físico que a su vez consta de un electrodo conectado a un circuito, el cual se conecta a un ordenador en cuya pantalla el usuario puede visualizar la cantidad de concentración de sulfuros, sustancia que es analizada de una muestra de agua residual contenida en un recipiente. La parte de la instrumentación, es sumamente clave puesto que define las labores, y las tareas a seguir por parte del diseñador quien debe recopilar al mismo tiempo, ejecutar los conocimientos emanados de la electrónica de los cuales dispone. En cuanto tiene que ver con el área de programación de software en sistemas, se constituye en un elemento esencial para el diseño ya que su programa hecho en un determinado código o lenguaje de programación determina el comportamiento funcional del dispositivo transductor inteligente.

(González, 2017).

### 2.1. Antecedentes

Se han realizado un escaso número de propuestas en lo referente a la aplicación de instrumentación inteligente para tratamiento de aguas residuales. Más difícil aun ha sido encontrar la detección de sulfuros, como eje central de un proyecto de aplicación de instrumentación electrónica. La mayoría de estudios concernientes a este tema se han hecho con conocimientos o con métodos basados en química. Sin embargo, pueden destacarse algunos trabajos que se mencionan por similitud con este proyecto.

- El electrodo para medir el ion sulfuro que también hace mediciones del ion plata en soluciones acuosas ha sido desarrollado por la compañía Crison. Necesita un electrodo de referencia para hacer la medición, acotando que se deben seguir unas pautas de mantenimiento, cuidado, y prevención, para preservar este instrumento electrónico. La compañía Crison inicio labores en 1.970, y durante la década de 1.980 a 1.985 se especializo en la fabricación de sensores para medir el pH de las sustancias.

(Harris, 2007).

- El fabricante mundial de instrumentos analíticos Hanna Instruments fue fundado en el año 1.978 en la ciudad de Padova Italia, teniendo en la actualidad diversas filiales a nivel mundial, distribuyendo sus productos. Sus

desarrollos tecnológicos empezaron en 1.980 sacando al mercado un probador de conductividad de una sola sonda. En el año 2.000 fue dado a conocer el primer medidor portátil de pH y temperatura. También han desarrollado un electrodo medidor de la sustancia química sulfuro que tiene la referencia HI4115. Los desarrollos anteriores tienen como valor agregado en algunos casos la incorporación de un microcontrolador, que imprime a la instrumentación un elemento de control, memoria, y procesamiento de datos.

(Ciganda, Quim, & Bussi, 2004).

El estado del arte actual de la descontaminación de sulfuros mediante instrumentos electrónicos inteligentes en las aguas residuales está de la siguiente manera:

En el mundo: Se han hecho avances significativos sobre los sensores inteligentes, los cuales constan de un elemento de control, que les permite realizar funciones como las de comunicación serial, transmisión digital de datos, almacenamiento de memoria, autodiagnóstico, entre otras. Para lograr estas prestaciones se están realizando estudios buscando la integración encapsulada de estos sensores inteligentes, para contrarrestar factores negativos que puedan perturbar su operación tales como son el ruido, y las interferencias de carácter medioambiental.

(Lucerna, 2004).

En Colombia: La instrumentación electrónica permite realizar tareas de control y de medición en campos como la industria, la medicina, y la química. La instrumentación electrónica se sigue sofisticando a tal punto que, es cada vez más frecuente su aplicación a las últimas tecnologías tales como la industria aeroespacial. Es necesaria la enseñanza de la instrumentación, aspectada en aplicar sus técnicas para mejoras en los diversos campos del saber, apoyándose a su vez en las actividades de los laboratorios de las instituciones de educación. El control electrónico de los sistemas inteligentes es fundamental para actividades de la vida cotidiana de las personas, mencionando como ejemplo a la variable temperatura, que se puede acondicionar de acuerdo a las necesidades de uso doméstico por parte de los habitantes de una casa. Se pueden mencionar también aplicaciones en la biomédica, donde los robots ahora realizan procedimientos quirúrgicos. La instrumentación y el control son una dupla práctica coherente que es capaz de intervenir y modificar variables, todo esto en provecho de la especie humana. La utilización de la instrumentación controlada es llevada a los trabajos de experimentación en los laboratorios de electricidad, electrónica, electroquímica, y química.

(Almario, Amin, 2014).

## **2.2. Marco referencial**

El tratamiento de aguas residuales tanto en el país como en el resto del mundo, se ha constituido en un proceso de larga data en los últimos años, cuando las

poblaciones humanas en general se dieron cuenta de la importancia que implicaba recuperar o por lo menos reciclar las aguas turbias desechadas, como producto de obras de ingeniería civiles tal como lo son acueductos, alcantarillados, drenajes, cloacas, vertientes hidrográficas, etc., en donde finalmente van a terminar después del uso dado en las diversas actividades humanas.

(González, 2017).

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. Etapa teórica electrónica del proyecto**

#### **2.3.1.1. Estándares IEEE 1451**

- IEEE 1451.0: Esta norma habla de una serie de comandos comunes para todos los transductores mediante la implementación del denominado procesador capacitado para aplicación de red (NCAP). El NCAP es un instrumento que se agrega a la tarjeta del transductor, buscando que exista una conexión de red más eficiente.
- IEEE 1451.1: Las normas vienen descritas en la forma de un software modular decidiendo que haya hojas de datos incorporados a los procesadores de los transductores. Existe el inconveniente de la complejidad de montar toda esta infraestructura informática, por lo que trabajan aun en su elaboración final.
- IEEE 1451.2: Transductor independiente de interface. Fue ideado inicialmente como una integración entre el Transductor con Modulo de Interfaz (TIM) y el Procesador Capacitado Para Aplicación de Red (NCAP). Esta integración se obtiene a partir de la conexión de diez hilos entre los dispositivos intervinientes.
- IEEE 1451.3: Es el estándar de un bus multidrop. Esto significa que se conectan varios módulos a un solo punto de conexión y comunicación, también llamada conexión multipunto. Se presenta una conexión multipunto de transductores inteligentes con el fin de mejorar la lectura y escritura de sus hojas de datos. Este sistema mediante un protocolo asigna el turno de ser leído a uno solo de los transductores conectados en tanto que los demás quedan en modo de espera.
- IEEE 1451.4: Por la cual se pretende que los transductores ya existentes en el mercado sean compatibles con lo definido en la norma 1451 incorporando la capacidad de almacenar las Teds.
- IEEE 1451.5: Para la conexión de los diferentes transductores inalámbricos. Se usan las tecnologías inalámbricas para conectar todos estos módulos tal como son

Bluetooth<sup>2</sup>, o Zig Bee<sup>3</sup>. Se sugiere el uso del Transductor con Módulo de Interfaz Inalámbrico (WTIM).

- IEEE P1451.6: Etapa de acople entre el transductor y el NCAP mediante la red CAN open.
- IEEE P1451.7: Presenta una interfaz entre los transductores y los sistemas RFID. RFID significa Sistema de Identificación por Radiofrecuencia.

(Soriano García, s. f.).

### 2.3.1.2. Transductor inteligente

Es un dispositivo electrónico que contiene tres elementos en conjunto los cuales son:

- Transductor: que a su vez se divide en sensor, y acondicionador de señal.
- Procesador: para identificación, autocalibración, autodiagnostico, y procesamiento de señal.
- Interfaz de comunicación.

Estos elementos están conectados en la misma tarjeta.

La señal ingresa por el transductor donde es acondicionada, para pasar luego al procesador donde se convierte en datos. El procesador es el encargado del manejo de datos que finalmente llegan hasta la interfaz de comunicación, elemento que transmite los datos al exterior.

(Wobschall, 2007).

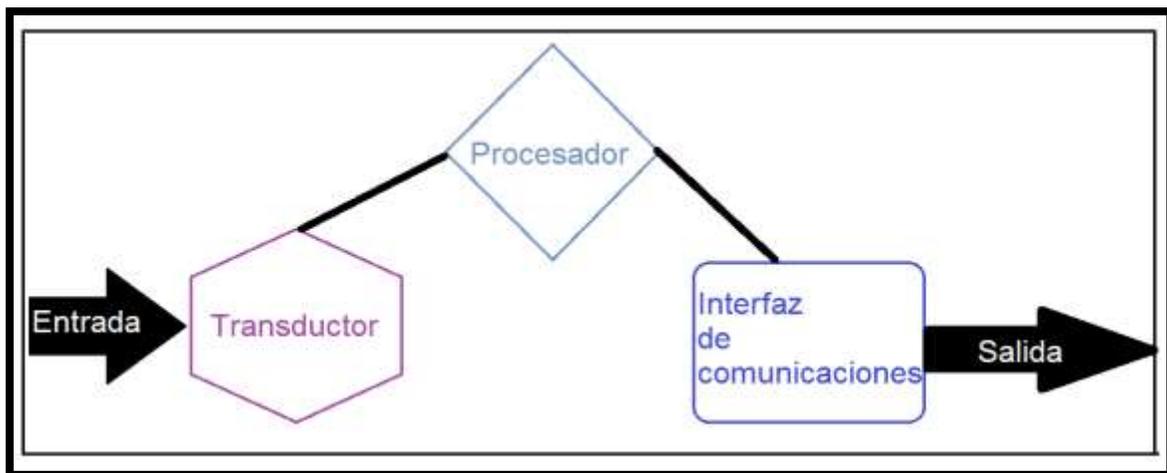


Figura 1

<sup>2</sup> Bluetooth: Redes inalámbricas de manejo personal, donde se consigue la transmisión de datos por radiofrecuencia a corta distancia.

<sup>3</sup> Zig Bee: Son redes inalámbricas de manejo personal, con las cuales se pretende hacer menos consumos energéticos de batería. (Moreno, 2012).

Figura 1: Esquema de un transductor inteligente. (González, 2017).

### **2.3.1.3. Transductor**

Es un sensor que recibe la señal externa, convirtiendo la magnitud de entrada en una señal de carácter eléctrico, realizando la conversión entregando, una serie de pulsos eléctricos, los cuales proporciona a su salida, al acondicionador de señal que es incorporado como etapa siguiente. Un acondicionador de señal es un sistema electrónico que ajusta los valores de voltaje y frecuencia en la señal, al mismo tiempo que la adapta, y le imprime correcciones, con el fin de entregarla en un estado óptimo de funcionalidad al bloque procesador.

(Jimenez Montero, 2007).

### **2.3.1.4. Procesador**

Es el dispositivo electrónico que convierte las señales en datos para su almacenamiento, disposición, manejo, y activación. Para esto utiliza convertidores que transforman señales análogas o continuas en digitales o discretas<sup>4</sup>, o, viceversa.

(Elias, de los Reyes, & Casadevall, 1987).

### **2.3.1.5. Interfaz de comunicación**

Una interfaz quiere decir un medio de ajuste o conexión entre dos elementos consecutivos, esto significa que el transductor inteligente mediante esta operación puede presentar datos de modo que sean entendibles por el (los) usuario(s). Se realiza una labor de transmisión de datos.

(Minguez, 2012).

La interfaz de comunicación de un transductor inteligente según la norma IEEE 1451 se refiere básicamente a que: El transductor inteligente (T.I.) dispone de por lo menos ocho (8) alternativas diferentes de poderse conectar a una red de usuario. Los módulos de T.I. deben estar en condiciones de poderse conectar a cualquier tipo de red, también a instrumentos de medición portátiles. Una unidad de interfaz de comunicación (UIC) se construye a partir de un procesador o controlador el cual

---

<sup>4</sup> La señal análoga en electrónica toma cualquier tipo de valor de los números reales entre dos valores extremos cohesionada de manera continua, es decir sin discontinuidades. Ejemplo: La corriente alterna que circula por un circuito. La señal digital en electrónica solo puede tomar los valores alto de voltaje por medio de 1 y bajo de voltaje por medio de 0, es decir valores discretos, enteros y discontinuos. Ejemplo: Las entradas proporcionadas por un dipswitch eléctrico. (Logica binaria, 2016).

incluye los puertos necesarios para gestionar parcial o totalmente este proceso. El transductor inteligente (T.I.) de este proyecto cuenta con un módulo de comunicación proporcionado por la tarjeta Arduino mega 2560, permitiendo su conexión, cumpliendo así con la transmisión digital de datos. Lo que el interfaz comunicativo de la IEEE 1451 pretende es un ágil intercambio de información permitiendo la identificación de los parámetros del T.I. inmerso en una configuración de red. La aplicación de la intercomunicación por parte de un módulo de transductor, facilita las operaciones de las redes de campo, las cuales funcionan a base principalmente de buses de datos. Los computadores están provistos con complejas tarjetas de comunicaciones robusteciendo la transmisión de datos, adicionalmente, integran la realización de cálculos para una o más variables que representan magnitudes físicas.

(Bosch, J., & Carmona, 2012).

### ***2.3.1.6. Funciones de un transductor inteligente***

Permite la toma de muestras por medio de sus sensores de entrada hacia el consiguiente análisis de estas, para finalmente emitir y visualizar los datos al usuario, producto del procesamiento dado. También se logra un pre procesamiento adecuado de los datos; Una calibración acertada obtenida a partir de la memorización de los parámetros para las mediciones, facilitando así la toma de decisiones; La notificación de las mediciones con señales digitales y protocolos de comunicación. Para el caso específico del proyecto, el electrodo del transductor es introducido en una muestra de agua residual con el fin de mostrar en la pantalla de su computador el resultado de la cantidad de concentración de sulfuros presentes. El sistema de comunicación entre transductores se logra gracias a que existe una etapa de acople de la señal que sale del procesador, en donde si es análoga se modula, y si es digital se codifica, para de esta manera obtener altos rendimientos de velocidad en las comunicaciones entre los transductores inteligentes.

(Santos, 2011).

### ***2.3.1.7. Transductor enmarcado en sistemas DAD***

Un transductor inteligente se puede catalogar dentro de los sistemas digitales de adquisición de datos (SDAD). Estos sistemas se caracterizan por integrar cierta inteligencia a los sensores mediante un encapsulado monolítico, mejorando la precisión, al mismo tiempo que mejora la protección contra el ruido. Reducen los sistemas, el espacio, también la presentación de datos ya que las prestaciones en velocidad son acertadas. Se destaca el hecho de que usa una implementación de acople muy sencilla al trabajar con diversos sistemas electrónicos, y digitales. Entre las ventajas que le traen a la instrumentación electrónica se mencionan:

- La inmunidad: Aislado la integridad de las señales del ruido, manteniendo la forma y magnitud de onda.
- Aislamiento galvánico: Utilizan opto acopladores que pueden utilizar referencias de tensión diferentes.
- Almacenamiento de información: Basada en sus memorias que tienen una capacidad acorde con las aplicaciones, e incluso más amplias.
- Procesamiento de señales: Donde se perfila la capacidad de extraer una señal específica dentro de una suma de diferentes señales manteniendo su integridad.

Del mismo modo los sistemas digitales de adquisición de datos ofrecen cualidades de calibración automática, adaptabilidad para presentar los datos en cualquier pantalla, manejo adecuado de los datos, facilidad para la comunicación serial con sistemas específicos para esa tarea.

Un sistema SDAD es representado como una interfaz de adaptación entre las magnitudes análogas, y las magnitudes digitales. Los SDAD constan de una serie de elementos, para nombrar algunos están: Entradas y salidas análogas, entradas y salidas digitales, temporizadores, contadores, lógica de control, elementos de transmisión de la información, tratamiento lógico de las magnitudes a medir. Igualmente se debe tener en cuenta la velocidad en los componentes, la precisión en las medidas, y con la finalidad del sistema se pueden obtener el tipo de complementos necesarios.

Los sistemas SDAD de un solo canal son de lazo abierto<sup>5</sup>, tienen como finalidad presentar la señal al usuario mediante algún método. Usa elementos tal como son los acondicionadores de señal los cuales a su vez emplean componentes como potenciómetros, puentes de Wheatstone, amplificadores de instrumentación, etc. En virtud de las anteriores características surgen definiciones como:

- Amplificador: Encargado de aumentar el nivel de la señal para que sea más fácil de captar por la siguiente etapa.
- Filtro: Que realiza la función de dejar pasar algunas señales y de no dejar pasar otras.
- Conversores análogo digital (CAD): que codifica la entrada de la señal real o analógica.

Los sistemas SDAD multicanal, funcionan bajo la técnica de las llaves de tres estados que solo permiten el funcionamiento de un solo componente, cuando se encuentran varios conectados al mismo tiempo a una línea de transmisión.

Las comunicaciones entre los dispositivos digitales pueden hacerse en serie o en paralelo. Dos tipos de comunicaciones en serie son: Bus SPI, y el bus I2C.

---

<sup>5</sup> Lazo abierto: No se unen el extremo de entrada con el extremo de salida.

- Bus SPI: Interfaz Periférica Serial, es una conexión de dispositivos mediante las interfaces de salida, permitiendo una transmisión de datos en flujo constante, al mismo tiempo que las interrupciones.
- Bus I2C: Circuitos interintegrados. Permite la transmisión de datos continua al tiempo que son necesarias las interrupciones. Consiste en la sencilla conexión serial de dispositivos mediante dos hilos, de ahí viene su nombre.

A la hora de diseñar los transductores los fabricantes tienen ciertos problemas en relación con definir, cuál es el mejor diseño que se debe implementar para conectar el dispositivo, según sus diferentes patrones de requerimientos tal como son: la conexión de red, el procesamiento de datos, el acondicionamiento de señal. Es de esta manera como se logra el diseño estructural de los sensores inteligentes, sin que exista conflicto con otros dispositivos, mediante las normas del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) en el numeral 1451.

(Bosch, J., & Carmona, 2012).

### **2.3.1.8. Procesador a utilizar durante el proyecto**

El procesador del transductor inteligente del presente proyecto, cuenta con una tarjeta electrónica Arduino 2560 (controlador ATMEL), que ha sido escogida por diversos factores entre otros: por su facilidad de programación; Un manejo simplificado de sus puertos de entrada y salida; Conexión sencillo a nivel de hardware y software; Ahorro de espacio; Alimentación a baja potencia con un consecuente ahorro de energía; Un costo económico razonable. La tarjeta impresa de Arduino es una placa que incorpora un microcontrolador al lado de un sistema de desarrollo específico. La compañía que fabrica esta innovación informática es Arduino-Genuino, destacándose por la prestación de software libre, para la creación de códigos a ejecutar en proyectos de diferentes ramas del conocimiento científico.

### **2.3.1.9. Tarjeta Arduino mega 2560**

El Arduino mega 2560 es una placa electrónica<sup>6</sup> basada en la versión Arduino AT2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM<sup>7</sup>), 16 entradas analógicas, 4 UARTs<sup>8</sup> (puertos de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una terminal ICSP<sup>9</sup>, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar

---

<sup>6</sup> Placa electrónica: En el presente proyecto se encuentra mencionada como tarjeta electrónica, o tablero electrónico, términos que significan lo mismo.

<sup>7</sup> PWM: Por sus siglas en Inglés (Pulse Width Modulation) modulación por ancho de pulso.

<sup>8</sup> UARTs: Plural de Transmisión Recepción Universal Asíncrona.

<sup>9</sup> ICSP: Del inglés (In Circuit Serial Programming), significa conector que permite programar el microcontrolador sin sacarlo de la tarjeta.

al microcontrolador; Basta con conectarlo a un ordenador mediante un cable USB o mediante un convertidor CA/CD o también se desempeña con la inserción de unas baterías cambiables.

- Programación

El tablero mega 2560 se puede programar con el software Arduino (IDE). Los ATmega tienen incorporado un cargador de arranque que permite el ingreso de software sin necesidad de un cargador externo. Se comunica utilizando el protocolo original STK500<sup>10</sup>. También se puede prescindir del ejecutor de arranque y programar el microcontrolador por medio de la (programación serial en circuito) ICSP utilizando Arduino ISP o similar.

Para el prototipo del transductor inteligente desarrollado en el proyecto, se procedió a escribir el algoritmo también denominado código, luego se abre la plataforma de Arduino en el computador, desde donde se hace la compilación para luego, cargar el contenido en la memoria del mega 2560.

- Advertencias

El 2560 posee un fusible que protege los circuitos USB del ordenador de sobretensiones y sobrecorrientes. Aunque la mayoría de las computadoras establecen su propia protección interna, el fusible proporciona un eslabón más de prevención. Si hay más de 500mA se aplica al puerto USB, la destrucción del fusible o en su defecto la desconexión.

- Fuente de alimentación

El mega 2560 puede ser alimentado a través de una conexión USB o también a través de una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. La potencia (no USB) externa puede venir con un adaptador CA/CD (tomacorriente de pared) o con una batería. El adaptador se puede conectar a través de un enchufe desde la clavija de alimentación de la placa. Los cables desde una fuente CD pueden ser insertados a los terminales GND y  $v_{in}$  de la placa Arduino. La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de 6v a 20v. Si se suministra menos de 7v la placa puede volverse inestable (a un nivel de más o menos 5v). Si se utiliza más de 12v, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7v a 12v.

Los pines de alimentación son:

- $v_{in}$ : Voltaje de entrada para cuando se utiliza una fuente de alimentación externa que permite, agregar voltaje dentro del rango especificado anteriormente.

---

<sup>10</sup> STK500: Protocolo diseñado por la empresa Atmel para la programación de sus microcontroladores.

- 5v: Es un pin que funciona principalmente como salida, siendo no aconsejable alimentar la placa al ser accesado.
- 3v3: Proporciona un suministro de 3,3v, junto con un consumo de corriente de 50mA.
- GND: Pines de conexión a tierra.
- Instrucción IOREF: Este pin en el tablero proporciona la referencia de tensión con la que trabaja el microcontrolador.

- Memoria

El ATmega 2560 tiene 256kB de memoria flash para almacenar el código (de los que utiliza 8kB para el cargador de arranque), 8kB de SRAM (memoria estática de acceso aleatorio) y 4kB de EEPROM<sup>11</sup> (que puede ser leído y escrito con la biblioteca EEPROM).

- Entradas y salidas

Cada uno de los 54 pines del mega se pueden utilizar como una entrada o una salida, utilizando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Operan a 5v. Cada pin puede permitir el flujo de 20mA como condición de funcionamiento recomendada contando con resistencia pull-up<sup>12</sup> (desconectada por defecto) de 20-50kΩ. No debe superarse un valor máximo de 40mA para evitar daños permanentes en el microcontrolador.

Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

-De serie: 0 (RX) y 1 (TX); De serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL. Los pines 0 y 1 también están conectados a los pines correspondientes del chip de serie ATmega USB a TTL.

-Las interrupciones externas: 2 (0 interrumpir), 3 (interrumpir 1), 18 (interrumpir 5), 19 (interrumpir 4), 20 (interrumpir 3), y 21 (interrumpir 2). Estos pines pueden configurarse para activar una interrupción con un nivel bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el nivel.

-PWM: 2 a 13 y 44 a 46. Proporcionan una salida PWM de 8 bits con la función `analogWrite()`.

-SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCLK), 53 (SS). Estos pines soportan la comunicación SPI utilizando la librería SPI. Los pines SPI también se distribuyen en

---

<sup>11</sup> EEPROM: Memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente.

<sup>12</sup> Pull-up: Resistencia que asegura el estado lógico de un pin que está normalmente en reposo. En este caso asegura un nivel alto.

la cabecera ICSP, que es físicamente compatible con el Arduino/Genuino Uno y las viejas tablas de Dumilanove y Diecimila de Arduino.

La comunicación por interfaz periférica serial se realiza gracias a los biestables<sup>13</sup> electrónicos maestro-esclavo. Este sistema permite que haya flujos de bits de datos de acuerdo a las condiciones de entrada que tengan estos dispositivos. La transmisión se realiza utilizando los modos:

- MISO: Salida de datos del esclavo y entrada al maestro.
- MOSI: Salida de datos del maestro y entrada de datos al esclavo.
- SCLK: Es el elemento sincronizador en la transmisión de datos.
- SS: Es para seleccionar un esclavo, o para iniciar transmisión por el maestro.

-LED (Diodo Emisor de Luz): 13. Hay un led incorporado conectado al pin digital 13. Cuando el pin es alto, el LED está encendido, cuando el pin es bajo, el LED está apagado.

-TWI: 20 (SDA) y 21 (SCL)<sup>14</sup>. TWI apoya la comunicación con la librería Wire. Al respecto es preciso decir que se trata del mismo protocolo I2C, pero nombrado de otra manera para Arduino.

El mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se miden desde tierra hasta 5v, aunque es posible cambiar el margen superior de su rango usando el pin AREF y la función analogReference ().

Hay un par de pines de la placa que son considerados a continuación:

- AREF: Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con analogReference ().
- Reiniciar: Debe pasar a nivel bajo para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se utiliza para añadir un botón de reinicio cuando se requiere.

- Comunicación

La placa mega 2560 tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otra placa u otros microcontroladores. El Atmega 2560 proporciona cuatro (4) UART de hardware para la comunicación serial TTL<sup>15</sup> (5v). El software de Arduino (IDE) incluye un monitor en serie que permite enviar datos desde y hacia la placa. Los leds RX y TX de la placa parpadearan cuando se transmitan datos del chip ATmega 8U2/Atmega 16U2 y la conexión USB al computador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1). Una biblioteca de software Serial permite

---

<sup>13</sup> Biestables: Permanecen en uno (1) de dos (2) estados posibles en ausencia de perturbación.

<sup>14</sup> SCL y SDA: Son líneas bidireccionales para transmisión de datos. SCL es reloj en serie y SDA es datos en serie.

<sup>15</sup> TTL: Lógica Transistor a Transistor.

la comunicación en serie en cualquiera de los pines digitales del Mega 2560. El Mega 2560 también soporta comunicación TWI y SPI. El software Arduino (IDE) incluye una biblioteca de cables para simplificar el uso del bus TWI.

- Características físicas y compatibilidad del escudo

La longitud máxima y el ancho de la PCB mega 2560 son de 4 y 2,1 pulgadas respectivamente, con el conector USB y el tomacorriente que se extiende más allá de la dimensión anterior. Tres (3) orificios de tornillo permiten que la placa se fije a una superficie o caja.

El Mega 2560 está diseñado para ser compatible con la mayoría de los escudos hechos para el Uno y los viejos tableros Diecimila o Duemilanove Arduino. Los pines digitales 0 a 13 (los pines AGND y  $V_{REF}$  adyacentes), las entradas analógicas 0 a 5, el terminal de alimentación y el extremo ICSP se encuentran en ubicaciones equivalentes. Además, el UART principal (puerto serie) es localizado en los mismos pines (0 y 1), al igual que las interrupciones externas 0 y 1 (pines 2 y 3, respectivamente). SPI está disponible a través del terminal de ICSP en las tarjetas mega 2560 y Duemilanove/Diecimila. I2C no se encuentra en los mismos pines de la placa Mega 2560 (20 y 21) como si se presenta en las tarjetas Duemilanove/Diecimila (entradas analógicas 4 y 5).

- Software de restablecimiento automático

En lugar de requerir de la pulsación física del botón de reinicio antes de una carga, el Mega está diseñado de tal forma que permite el reinicio por medio del software de un computador conectado. Una de las líneas de flujo de hardware (DTR) del Mega 8U16 está conectada a la línea de reposición del Mega 2560 a través de un condensador de 100nF. Cuando esta línea se afirma (nivel bajo), la línea de reinicio se cae el tiempo suficiente para restablecer el chip. El software Arduino (IDE) utiliza esta capacidad para poder cargar código simplemente pulsando el botón de carga en el entorno de Arduino. Esto significa que el gestor de arranque puede tener un tiempo de espera más corto, ya que la reducción de la DTR puede ser bien coordinada con el inicio del flanco de subida.

Esta configuración tiene otras implicaciones. Cuando la placa Mega está conectada a un equipo que ejecuta Mac OS X o Linux, se restablece cada que se realiza una conexión desde el software (a través de USB). Durante el siguiente medio segundo aproximadamente, el gestor de arranque se ejecuta en el ATmega 2560. Mientras está preparado para ignorar datos malformados (es decir, cualquier cosa además de una carga de nuevo código), interceptara los primeros pocos bytes de datos enviados a la placa de una carga después de que se abra una conexión. Si un boceto que se ejecuta en una placa recibe una configuración única u otros datos cuando se inicia por primera vez, es necesario asegurarse de que el software con

el que se ejecuta espere un segundo después de abrir la conexión y antes de enviar estos datos.

La placa mega 2560 contiene un conector que se puede cortar para deshabilitar el restablecimiento automático. Las terminales a ambos lados se pueden volver a soldar para habilitar esta maniobra. Tiene la etiqueta "RESET-EN". También es posible deshabilitar el restablecimiento automático al conectar una resistencia de  $100\Omega$  desde el pin de 5v hasta la línea de reinicio.

- Las revisiones

El mega 2560 no utiliza el chip de controlador USB-a serie FTDI utilizado en diseños anteriores. En su lugar, presenta el Atmega16U2 (Atmega8U2 en las tablas de revisión 1 y revisión 2 de Arduino) programado como un convertidor USB a serie. La revisión 2 tiene una resistencia que une la línea 8U2 HWB con la tierra, haciéndola más fácil de activar en modo DFU. La revisión 3 de la placa Arduino y del actual Genuino 2560 presenta las siguientes características mejoradas:

- Pines 1,0: Pines SCA y SCL-cerca del pin  $A_{REF}$ —y otros dos (2) nuevos pines colocados cerca del pin Reset, el  $I_{OREF}$  que permite a los escudos adaptarse al voltaje suministrado desde la placa. En el futuro, los escudos serán compatibles tanto con las placas que utilizan el AVR, que funcionan con 5v como con las placas que utilizan ATSAM3X8E, que funcionan con 3.3v. El segundo es un pin no conectado, que se reserva para futuros propósitos.
- Circuito RESET más fuerte.
- Reemplazo ATmega donde será sustituido el 8U2 por el 16U2.  
(Cárdenas Sanchez, T. A., Chavez Burbano, P. X., & Carpio Miranda, s. f.).

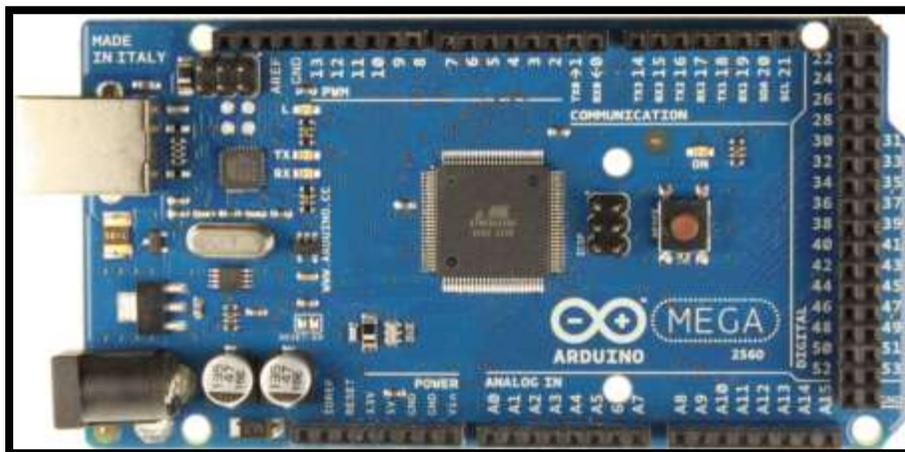


Figura 2

Figura 2: Vista comercial y física de la tarjeta del controlador Arduino Mega AT2560. Fuente: Arduino Genuino productos.

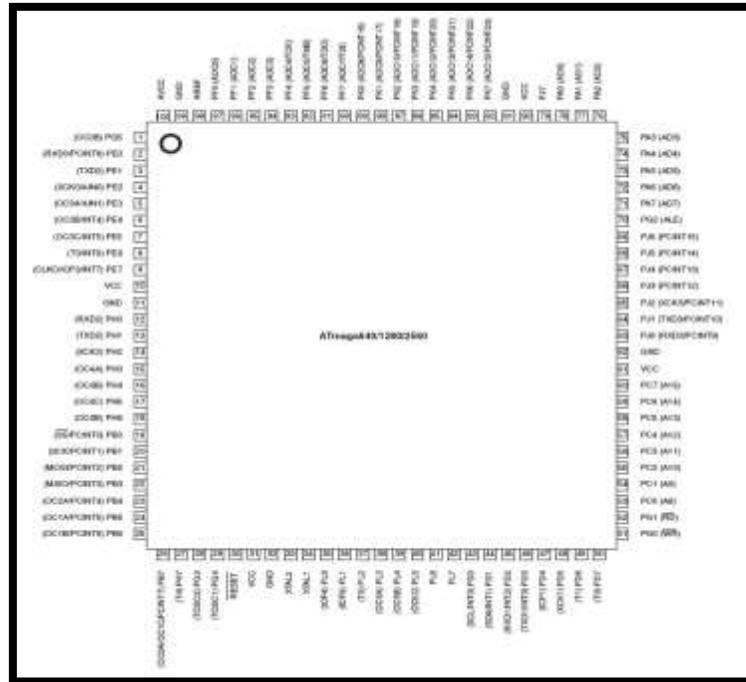


Figura 3

Figura 3: Diagrama de pines del microcontrolador Atmega 2560. Fuente: Arduino Genuino productos.

### 2.3.1.10. Amplificador operacional

Es un dispositivo electrónico que cuenta con dos entradas y una salida, que como su mismo nombre lo indica aumenta la magnitud de una señal recibida en su entrada. Generalmente esta señal es de voltaje, e ingresa al amplificador (Amp Op) saliendo del mismo multiplicada por un factor de ganancia  $G$  que, al utilizar otra literatura también es conocida como  $A$ . Luego  $A = V_{\text{Salida}} / V_{\text{Entrada}}$ .

(Boylestad, 1991).

Un amplificador operacional, se define también como un amplificador diferencial con una ganancia muy alta, con una elevada impedancia de entrada y una impedancia de salida baja. Se usan para proporcionar cambios de polaridad, osciladores, circuitos de filtros y muchos otros circuitos de instrumentación. Contiene varias etapas de amplificador diferencial<sup>16</sup> para lograr una ganancia de voltaje muy alta. Si la señal de entrada es aplicada por la terminal del signo (+), se obtendrá una salida

<sup>16</sup> Amplificador diferencial: Circuito amplificador de señal y voltaje, que se obtiene a base de conectar dos (2) transistores (dispositivos electrónicos de 3 pines) por medio de sus emisores (pines de un transistor), separando sus bases y colectores (que completan los pines de cada transistor).

con la misma polaridad y fase<sup>17</sup>. Si la señal de entrada es aplicada por la terminal del signo (-), se obtendrá una salida con inversa polaridad y fase. Obsérvese, dos (2) amplificadores operacionales insertos dentro del esquema interno del circuito integrado TL082 mostrado en la figura 6.

Los amplificadores operacionales se conectan en diversas formas destacándose: La conexión de una sola terminal mientras que la otra se fija a tierra, produciendo una señal de salida en fase o desfase con la entrada dependiendo del signo de la terminal conectada. Entrada en doble terminal diferencial, resultando una señal de salida, diferencia entre las señales de entrada. La salida en doble terminal produce señales amplificadas con polaridad directa o inversa, ingresando señales por positivo (no inversor) o negativo (inversor) únicas o dobles. La operación en modo común consiste en unir las dos (2) entradas a una misma señal, idealmente produciría una cancelación algebraica de sus valores, pero en la práctica se percibe una pequeña señal de salida. El rechazo en modo común facilita la eliminación de señales indeseadas como el ruido.

El circuito amplificador operacional básico, cuenta con un valor nominal en su impedancia de entrada de varios megaohms, incluyendo una impedancia de salida de menos de cien ohmios ( $100\Omega$ ). El circuito básico se construye con una resistencia que va después de la señal de entrada, la unidad de Amp Op, terminando con una resistencia de salida llamada resistencia de ganancia, la cual va conectada de la salida a la entrada en modo retroalimentación. Este tipo de montaje se observa en el circuito de las figuras 13 y 26. Es posible crear un circuito de tierra virtual con amplificador operacional, administrándole una pequeña señal de entrada de unos pocos milivoltios, generando que no se drene corriente desde la entrada del Amp Op a tierra.

Entre los circuitos prácticos más utilizados de amplificador operacional, se encuentran: El amplificador inversor que registra una salida de ganancia constante e invertida. El amplificador no inversor simplemente multiplica el valor de la entrada por una constante sacándolo con el mismo signo. El seguidor unitario tiene como ganancia la unidad sin que haya inversión de polaridad, ni de fase, por lo tanto la salida tiene igual magnitud que la entrada. El Amp Op sumador como su nombre lo indica hace la adición algebraica de las señales de entrada resultando en la señal de salida. El amplificador integrador es obtenido sustituyendo la resistencia de retroalimentación por un condensador. El amplificador diferenciador es menos usado, el mismo se consigue cambiando la resistencia de entrada por un condensador.

(Boylestad, 1991).

---

<sup>17</sup> Polaridad y fase: En electricidad y electrónica polaridad es la forma como están dispuestas la carga positiva y negativa aplicada a un circuito. La fase es la posición resultado de la diferencia entre una posición final respecto de otra inicial, pertenecientes a la misma señal, o a señales diferentes.

### 2.3.1.11. Diagrama de bloques funcional del transductor inteligente (T.I.)

El transductor inteligente del proyecto cuenta con cinco (5) bloques de funcionamiento esenciales, son ellos: Transducción; Acondicionamiento de señal; Tratamiento digital de la señal; Procesamiento digital de la señal; Para concluir con un bloque de usuario.

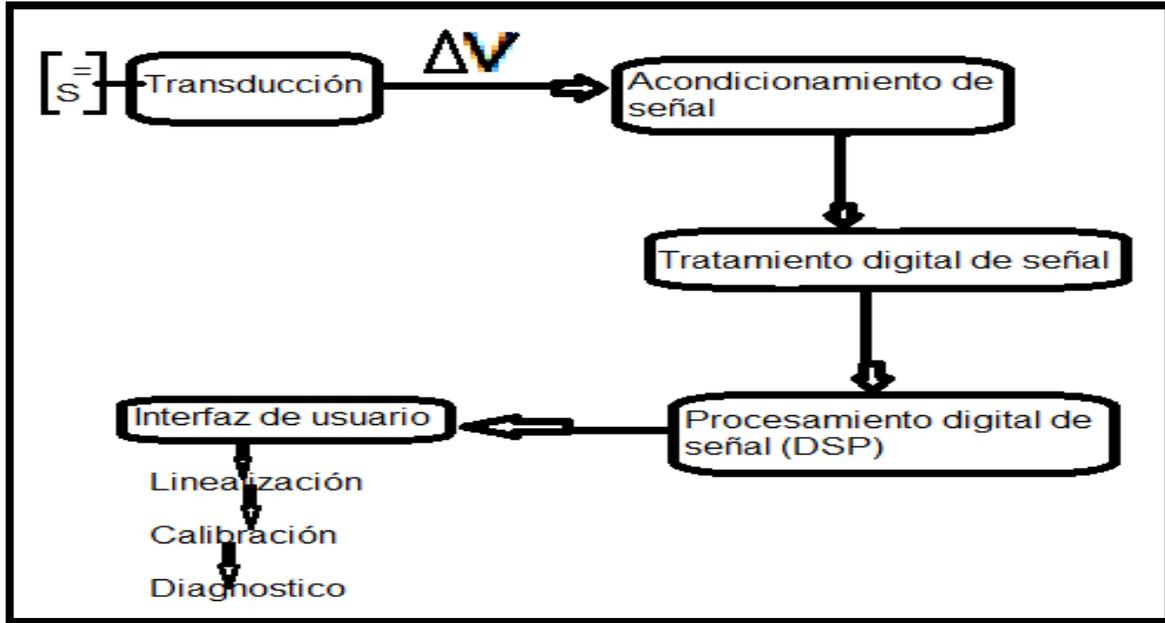


Figura 4

Figura 4: Diagrama de bloques funcional del transductor inteligente (TI). (González, 2017).

**Transducción:** Se denomina transductor, en general, a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física a una señal correspondiente, pero de otra forma física. Es, por tanto, un dispositivo que convierte un tipo de energía en otro. Esto significa que siempre la señal de entrada es una energía o potencia, pero al medir uno de los componentes de la señal suele ser tan pequeña que puede despreciarse, y se interpreta que se mide solo la otra componente. Al medir una fuerza, por ejemplo, se supone que el desplazamiento del transductor es despreciable, es decir, que no se carga al sistema, ya que podría suponer que no aporte la energía necesaria para el desplazamiento. Pero en la transducción siempre se absorbe una pequeña parte de energía de donde se mide, por lo que es importante garantizar que esto no perturba el proceso. Dado que hay dos tipos de señales en el proyecto que son: Eléctricas, y químicas, cualquier dispositivo que cambie una señal de una naturaleza a la otra debería considerarse un transductor, y la señal de salida podría ser de cualquier otra forma física útil. En la práctica, no obstante, se consideran transductores por antonomasia aquellos que ofrecen una salida física eléctrica. Ello se debe al interés por este tipo de señales en todos los sistemas de medida. Los sistemas de medida electrónicos ofrecen ventajas como son: Generación de salidas eléctricas de magnitudes no eléctricas; La amplificación

electrónica permite recomponer la señal que se pierde a la entrada; La incorporación en circuitos integrados de muchos de sus componentes lo cual los protege de interferencias externas; Se facilita el manejo de datos electrónicos para aplicaciones informáticas; Es más versátil la transmisión de datos de manera eléctrica.

Acondicionamiento: Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio, son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para presentar o simplemente también para facilitar su posterior tratamiento por parte de un sistema dado. Consisten normalmente en circuitos electrónicos que ofrecen, entre otras funciones, Las siguientes: amplificación, filtrado, adaptación de impedancias y modulación o demodulación. Si se considera, por ejemplo, el caso en que una de las etapas de tratamiento de la señal es digital, si la salida del sensor es analógica, que es lo más frecuente, hará falta un convertidor A/D (Análogo/Digital). Éstos tienen una impedancia de entrada limitada, exigen que la señal de entrada sea continua o de frecuencia de variación lenta, y que su amplitud esté entre unos límites determinados, que no suelen exceder de 10v. Todas estas causales obligan a interponer un acondicionador de señal entre el sensor, que muchas veces ofrece señal de apenas unos milivoltios, y el convertidor A/D. La presentación de los resultados puede ser de forma analógica (óptica, acústica o táctil) o numérica (óptica). El registro puede ser magnético o sobre papel, e incluso electrónico (memorias eléctricas), y exige siempre que la información de entrada este en forma eléctrica.

(Pallás, s. f.).

Tratamiento digital: Tras el muestreo y conversión de los datos, se procesará la información obtenida. El tipo de procesamiento que sufra esta señal es muy variado en función de la finalidad de la conversión A/D. En sencillos sistemas de medida el único procesamiento que se hace es el envío hacia un elemento visualizador, como una pantalla de cristal líquido o una barra de LED; En sistemas de medida y monitorización se usan pantallas gráficas y, tal vez, el almacenamiento de la información. En sistemas de regulación, la información obtenida se usará en los algoritmos de control para obtener las órdenes que se enviarán a los diferentes accionamientos y actuar sobre el proceso. En cualquier caso, antes de representar un dato, emplearlo, o distribuirlo es necesario validar que el dato muestreado este correcto y que el proceso de muestreo y cuantificación ha sido correcto. Desde el punto de vista analítico el principal parámetro es el tiempo de conversión el cual determina el periodo de muestreo y, en virtud del teorema del muestreo, la máxima frecuencia de la señal objeto de la conversión para evitar los problemas asociados a los errores de tratamiento muestral por insuficiencia en la cantidad total de intervalos. Los tiempos de conversión también forjan la necesidad de retener la señal durante el tiempo que se tarda para evitar que surjan los procesos de cuantificación; para ello es necesario emplear un bloque adicional como pueden ser los de muestreo y retención.

(Pérez, Álvarez, Campo, Ferrero, & Grillo, 2004).

Procesamiento digital de señal (DSP): Es una forma de manipulación de los datos introduciéndolos para ello en un hardware al cual se le ingresa un software con determinadas condiciones y características para lograr esta condición. Se aplican técnicas matemáticas para extraer la información de los datos. Los datos digitales son regresados a su característica primaria analógica, pero con calidad mejorada. Estos procesos deben realizarse en tiempo real lo cual implica que los dispositivos DSP deben elaborar estos procesos ante frecuencias del orden de los MHz o superiores. Un DSP es un microprocesador que realiza la labor digital en tiempo real. En su núcleo, un DSP es altamente numérico y repetitivo. A la vez que cada dato llega, este debe ser multiplicado, sumado y además de eso transformado a través de fórmulas complejas. Lo que permite realizar todo ello es la velocidad del dispositivo. Los dispositivos basados en DSP deben capturar y procesar la información en tiempo real ósea al mismo tiempo que ocurre. Una de las características más importantes de un DSP es la capacidad de realizar las operaciones de multiplicación y acumulación en un (1) ciclo de reloj. Así, un procesado de la señal reduce el efecto de posibles datos anómalos que puedan presentarse. También es posible recurrir al procesamiento de la señal con el fin de eliminar niveles de ruido, como el promediado de valores que, si bien, reduce el ancho de banda, consigue obtener valores mucho más estables.

La interfaz de usuario: Es la etapa que permite la comunicación entre el usuario y el computador portátil en la cual se establecen los parámetros de linealización por el cual se busca la aproximación de la curva dada por el transductor inteligente a una línea recta de funcionamiento establecida por el diseño. La calibración consiste en ajustar cada vez más a la realidad los valores de las mediciones con base en la exactitud<sup>18</sup> y la precisión<sup>19</sup>. Lo anterior manifiesta que el transductor inteligente debe sincronizarse en igualdad con un patrón de medida, el cual se empieza generalmente con un valor de cero (0) absoluto. El diagnóstico para el transductor habla de que cuando se presente una falla de medición en sulfuros, o en pH (dos de las magnitudes que mide el dispositivo), se pueda solventar esta falencia a partir de su propia conformación estructural.

(Ambardar, 2002).

Muchos voltajes y corrientes varían en la electrónica dentro de un rango de valores. En la circuitería digital, las señales son de dos (2) niveles, representando los valores binarios uno (1) o cero (0). En un convertidor analógico digital (CAD) un valor digital representa un valor analógico de entrada y, en cambio, un convertidor digital analógico (CDA) cambia un valor digital de vuelta a un valor analógico.

Entre los métodos para hacer la conversión analógica a digital se destacan:

---

<sup>18</sup> Exactitud: Hace referencia a la diferencia entre el valor teórico o estimado, y el valor medido. Cuanto menor sea este valor será mayor la exactitud y viceversa. (libre, s.f.)

<sup>19</sup> Precisión: Es el valor resultante del menor índice de dispersión de medidas obtenidas con respecto a un valor estándar (teórico o de fábrica). (libre, s.f.)

- Conversión de doble pendiente: Un método popular para convertir un voltaje análogo a uno digital es el de doble pendiente. El voltaje analógico al ser convertido se aplica por medio de un interruptor electrónico a un integrador o circuito generador de rampa (esencialmente una corriente constante que carga a un condensador para producir un voltaje de rampa lineal). La salida digital se obtiene de un contador que opera durante los intervalos de pendiente positiva y negativa del integrador. El método de conversión funciona de la manera siguiente: Durante un intervalo de tiempo fijo (por lo general, el rango de cuenta completo del contador), el voltaje analógico conectado al integrador eleva el voltaje en la entrada del comparador a algún nivel positivo. Al final del intervalo de conteo fijo, el contador se inicializa a cero (0), y el interruptor electrónico conecta al integrador con un voltaje de entrada fijo o de referencia.
- Conversión de red de escalera: Donde un contador digital avanza a partir de cero (0) mientras un circuito de escalera, manejado por el contador, da un voltaje de salida en escalones. Un circuito comparador, que recibe el voltaje en escalones y el voltaje analógico de entrada, proporciona una señal para detener la cuenta cuando el voltaje en escalones llega a ser superior al voltaje en la entrada. La salida digital es el valor del contador en ese momento. La fórmula para este sistema es:  $V_{ref} / 2^n$ .

(Boylestad, 1991).

El presente proyecto del transductor inteligente visualiza al usuario los resultados en una pantalla de cristal líquido (display LCD), las cuales poseen la ventaja distintiva de tener un requerimiento de potencia más bajo que los LED. Es típicamente del orden de microwatts para la pantalla, en comparación al orden de miliwatts para los LED. Sin embargo, requieren de una fuente de iluminación interna o externa soportando temperaturas desde 0°C hasta 60°C. El tiempo de vida útil tiene mucha variación.

Un cristal líquido es un material (normalmente orgánico para las LCD) que fluye como un líquido, pero cuya estructura molecular es normalmente asociativa con los sólidos. El mayor interés para las unidades de luz está en el cristal líquido nemático. Sus moléculas individuales tienen apariencia de varillas. La superficie conductora de óxido de indio es transparente y, la luz simplemente atraviesa la superficie de cristal líquido haciéndola clara. Si se aplica un voltaje (para unidades comerciales el nivel de umbral está desde los 6V hasta los 20V) a través de las superficies conductoras, el acomodo molecular queda perturbado, con el resultado de que se establecerán regiones con diferente índice de refracción. La luz incidente es, por tanto, reflejada en diferentes direcciones, en la interfaz de diferentes regiones con sus respectivos índices de refracción (mencionados como dispersión dinámica, estudiada primeramente por RCA en 1.968), de lo cual resulta que la luz dispersada tiene una apariencia de vidrio congelado.

Un dígito en una pantalla LCD puede mostrarse en forma de segmentos. El área negra es, de hecho, una superficie conductora clara conectada a las terminales que se encuentran abajo para el control externo. Dos (2) capas opuestas están a ambos lados del material sellado de cristal líquido. Si se requiere formar por ejemplo el número 2 se energizan los terminales 8, 7, 3, 4 y 5, mientras los demás segmentos permanecen claros. Bajo condiciones de oscuridad es necesario que la unidad tenga una fuente de luz externa. En condiciones de luminosidad extrema se debe colocar un reflector de luz hacia la pantalla para lograr intensidad máxima. Para una operación óptima, los actuales fabricantes de relojes buscan una combinación de modos (su propia fuente de luz) y reflectivos llamada transreflectiva.

La LCD de efecto de campo o nemático tiene la misma apariencia de cristal líquido encapsulado, pero su modo de operación es muy diferente. De modo similar a la LCD de dispersión dinámica, la LCD de efecto de campo puede operarse en los modos transmisivo o reflectivo con una fuente interna. En la LCD de efecto de campo, la superficie conductora clara es tratada químicamente, o se aplica una película orgánica para orientar las moléculas de cristal líquido en el plano vertical, paralelas a la pared de la celda. Entre las dos (2) paredes del cristal líquido hay un cambio general de una polarización a la otra. Si no hay voltaje aplicado a las superficies conductoras, la luz polarizada verticalmente entra a la región de cristal líquido siguiendo la posición de  $90^\circ$  de la estructura molecular. Cuando se aplica un voltaje de umbral (para unidades comerciales de 2 a 8V), las moléculas similares a varillas se alinean por sí mismas con el campo (perpendicular a la pared) y la luz pasa directamente sin la desviación de  $90^\circ$ . La luz incidente vertical pasa directamente a la segunda pantalla de polarización vertical viéndose un patrón claro. Mediante una excitación adecuada de los segmentos de cada dígito, el observador puede apreciar un patrón de caracteres nítido. Si no hay voltaje aplicado existe una pantalla iluminada uniformemente.

Las LCD son usadas cuando la fuente de alimentación es un factor primordial (por ejemplo en relojes, instrumentación portátil, etc.), debido a que consumen una potencia menor que las del tipo de dispersión de luz, del rango de microwatts, comparada con el de pocos miliwatts. Por lo general, el costo es mayor para las unidades de efecto de campo y su longitud es de dos (2) pulgadas, mientras que en unidades de dispersión de luz se consiguen hasta con ocho (8) pulgadas de altura. Una consideración adicional en las pantallas es su tiempo de encendido y apagado. Las LCD son mucho más lentas que los LED. Las LCD tienen tiempos de respuesta típicos en rangos de 100 a 300ms, mientras que se dispone de LEDs con rango de respuesta inferior a 100ns. Sin embargo, hay varias aplicaciones, como los relojes, en donde la diferencia de  $1/10$ s trae pocas consecuencias. Para tales aplicaciones la menor demanda de potencia de las LCD es una característica muy atractiva. El tiempo de vida de las unidades LCD se incrementa en forma sostenida, más allá del límite de (diez mil) 10.000 horas. Debido a que el color tomado por las fuentes LCD depende de la fuente de iluminación, hay un mayor rango de alternativas de color.

(Boylestad, 1991).

Reguladores de voltaje de circuito integrado (CI): Los reguladores de voltaje comprenden una clase de CI ampliamente usados. Los reguladores de CI contienen la circuitería de la fuente de referencia, el amplificador comparador, el dispositivo de control y la protección de sobrecarga, todo en un solo CI. La construcción interna es un tanto diferente a los reguladores de voltaje discretos, la operación externa es prácticamente la misma. Los reguladores integrados ofrecen estabilidad para un nivel de voltaje positivo, negativo o ajustable. Una fuente de alimentación puede construirse empezando por un transformador que disminuya el voltaje CA de entrada, luego se rectifica ese voltaje, filtrándolo con un condensador y un filtro RC y, por último, se puede regular el voltaje CD con un CI regulador. Los reguladores se pueden seleccionar para corrientes de carga desde cientos de miliamperios hasta decenas de amperios, correspondiendo a rangos de potencia desde miliwatts hasta decenas de watts.

Los reguladores de voltaje de tres (3) terminales con una carga tienen un voltaje de entrada CD sin regular,  $v_i$ , aplicado a una terminal de entrada, un voltaje CD en salida regulado,  $v_o$ , en una segunda terminal estando la tercera terminal conectada a tierra. Para un regulador seleccionado, las especificaciones indican el valor de oscilación de entrada para la que el regulador mantiene un nivel deseado de corriente de carga. Las especificaciones también listan los cambios en la cantidad de voltaje de salida producidos por la corriente de carga (regulación de la carga) o de un voltaje de entrada (regulación de la línea).

Los reguladores de la serie 78 entregan valores positivos de voltaje que van desde  $5v$  a  $25v$ . Su conexión básica es conectando la señal de entrada a su correspondiente terminal utilizando un condensador para hacer su filtrado. El segundo de sus terminales va conectado a tierra, finalizando con el terminal de salida entregando un voltaje regulado filtrado por un condensador a una carga cualesquiera. Aunque el voltaje de entrada puede variar dentro de un rango de voltaje permisible, y la carga de salida puede variar dentro de un rango aceptable, el voltaje de salida permanece constante dentro de los límites de variación especificados. Estas limitantes están indicadas en la hoja de especificaciones proporcionada por el fabricante. Los CI de la serie 7900 proporcionan reguladores para voltajes negativos, similares a los utilizados para voltajes positivos. Los CI reguladores están disponibles para un rango de voltajes negativos fijos, proporcionando el CI voltaje de salida especificado, mientras se mantenga el voltaje de entrada mayor al voltaje mínimo de entrada. Por ejemplo, el 7912 proporciona una salida de  $-12v$ , mientras que la entrada al regulador sea más negativa que  $-14,6v$ .

(Boylestad, 1991).

### 2.3.1.12. Puente de Wheatstone

Para medir las resistencias se utilizan las técnicas de dos (2) y cuatro (4) hilos, para evitar que se introduzcan errores debidos a los cables y conectores del instrumento de medición (multímetros). Por tal motivo se han creado circuitos de medición electrónica que desarrollaron una mayor sensibilidad para tomar las fluctuaciones diminutas de las variables relacionadas con las resistencias. Por esta razón surgió el diseño del puente de Wheatstone.

La estructura del puente de Wheatstone está formada por cuatro (4) resistencias, una de las cuales es la que se pretende medir, una fuente de tensión continua y un galvanómetro<sup>20</sup>. La primera forma de trabajar el puente de Wheatstone es por compensación consistente en, garantizar que el puente está en equilibrio y que, por lo tanto, la rama de la izquierda y de la derecha tiene resistencias iguales. En tal caso, la tensión en los puntos A y B es la misma y como resultado no circulara corriente por el galvanómetro (remitirse a la figura 5). El puente de Wheatstone tiene dos (2) resistencias fijas (las superiores,  $R_1$ ), una resistencia variable,  $R$  y la resistencia a medir,  $R_x$ . Cuando  $R=R_x$  el puente está en equilibrio por lo que, si la variación de  $R$  se hace de una forma totalmente controlada y es posible conocer su valor, se habrá encontrado el valor de  $R_x$ . Era necesario incorporar los valores conocidos de las resistencias  $R$  asegurando que tuvieran precisión, o en su lugar potenciómetros calibrados.

Este método goza de una muy buena precisión permitiendo desarrollar un sistema de compensación para cables y conectores cuando se va a aplicar a distancias moderadamente grandes. Pero el puente de Wheatstone puede utilizarse de otra forma: En lugar de mover la resistencia  $R$  hasta conseguir su compensación, se mantendrá y, en lugar de usar un galvanómetro para detectar cuando hay desequilibrio, se empleará un voltímetro para cuantificar el desequilibrio. A esta medida se le denomina medida por deflexión dado que la diferencia entre  $R$  y  $R_x$  es la que produce la tensión de salida  $v_{AB}$ . De esta forma, es posible encontrar una relación matemática entre tal tensión y la diferencia de resistencias. El puente de Wheatstone puede ser alimentado por medio de fuentes de tensión (voltaje) o fuentes de corriente, encontrando ventajas y desventajas en cada caso.

(Pérez et al., 2004).

---

<sup>20</sup> Galvanómetro: Instrumento que sirve para medir la dirección y la intensidad de una corriente eléctrica mediante la desviación que esta le produce a una aguja magnética.

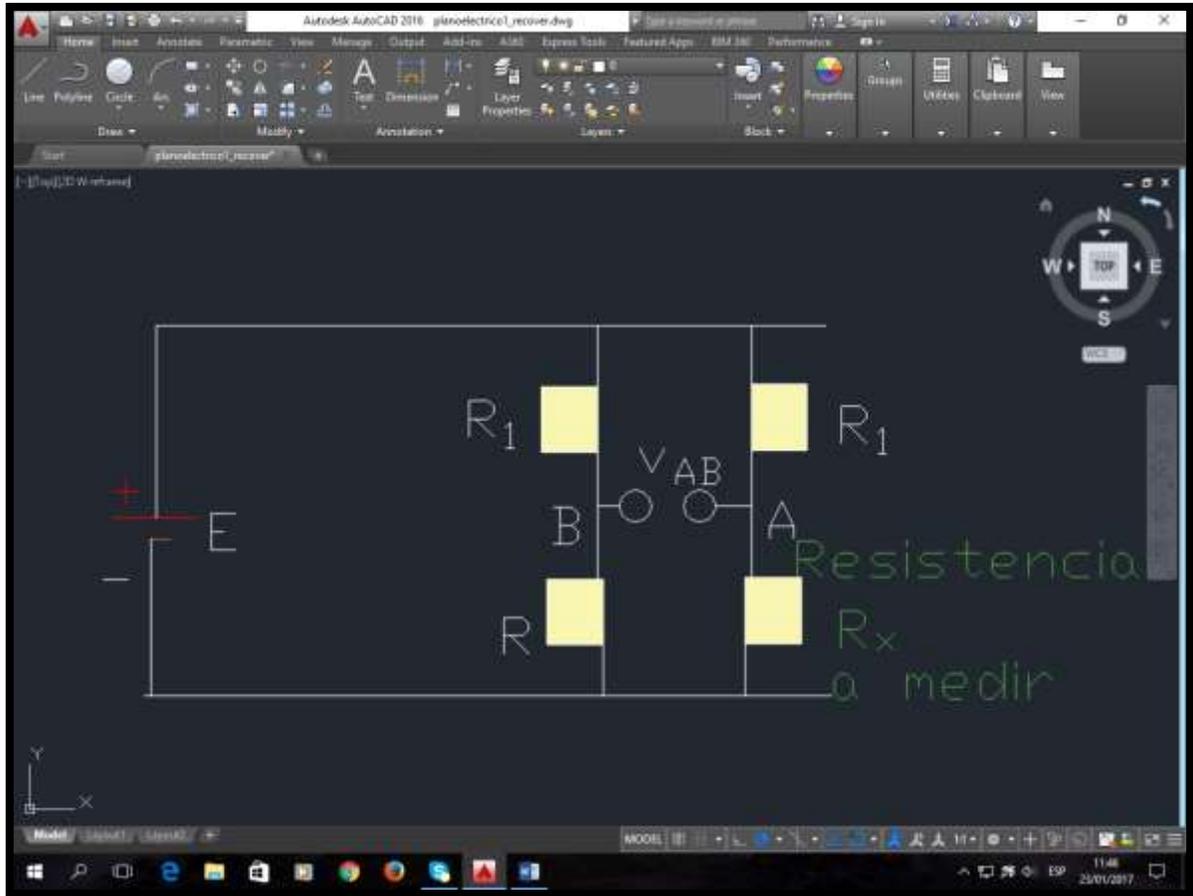


Figura 5

Figura 5: Puente de Wheatstone. AutoCAD 2.016.

### 2.3.1.13. Programación mediante lenguajes de alto nivel

Permite al programador utilizar instrucciones sintácticas parecidas a las del idioma inglés. Es el caso del lenguaje C en donde se pueden utilizar las palabras case, if, for, while, etc., para construir con ellas instrucciones. Esta es la razón por la cual a estos lenguajes se les denomina de alto nivel, porque se pueden utilizar palabras de muy fácil comprensión por el programador. En contraposición, los lenguajes de bajo nivel son aquellos que están más cerca del “entendimiento” de la máquina. Otros lenguajes de alto nivel son: Ada, Basic, Cobol, Fortran, Pascal, etc.

Otra característica importante de los lenguajes de alto nivel es que, para la mayoría de instrucciones de estos lenguajes, se necesitarían varias instrucciones en lenguaje ensamblador para indicar lo mismo. De igual manera, la mayoría de instrucciones de un lenguaje ensamblador, también agrupa a varias instrucciones de un lenguaje máquina.

(García-Beltrán, Martínez, & Jaén, 2004).

#### **2.3.1.14. Lenguaje de programación para Arduino**

El lenguaje para programar la tarjeta del dispositivo Arduino está basado en los lenguajes de programación C/C++. En el código o programa realizado para el presente proyecto, se encuentran los comandos u operandos siguientes:

- Comentarios: Que no hacen parte de la sintaxis de los comandos, que van precedidos por la doble barra (`//`). Los comentarios se utilizan para describir al programador la estructura lógica del código.
- Tipos de datos: Son los conjuntos de los que una variable lógica cualquiera toma un determinado valor matemático o lógico. En el programa se tienen los tipos float (flotante), int (entero), y double (doble<sup>21</sup>).
- Void setup: Sirve para la configuración de pines a nivel de hardware del dispositivo.
- PinMode: Permite colocar un pin digital del dispositivo como una salida que escribe datos.
- Serial.begin: Inicia una transmisión serial de datos con una determinada velocidad.
- Void loop: Es la función que permite se ejecuten las instrucciones lógicas del programa mediante la aplicación de los bucles (ciclos) determinados por el usuario.
- AnalogRead: Es la función que realiza la lectura de una magnitud análoga a través de un pin de la arquitectura del Arduino.
- Return: Por medio de esta función el programa devuelve o retorna un valor de una variable que ha recibido tratamiento lógico y matemático por parte de la estructura del programa.
- Serial.print: Visualiza un resultado en la pantalla o display de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el usuario en el código.
- Serial.println: También visualiza en el display pero, con la diferencia de que hace un retorno de carro en el texto.
- Pow: Esta función es exponencial elevando un número base mediante un número exponente.
- lcd.print: Comando para visualizar caracteres en una pantalla LCD, perteneciente su librería.
- lcd.setCursor: Coloca el cursor en la posición que indica el usuario dentro de una pantalla LCD.
- lcd.write: Es un comando similar a lcd.print.

(Hedrich Martinez de Carvajal, 2015).

---

<sup>21</sup> Double: Tipo de datos que son reales, contienen coma flotante y son de gran tamaño. Generalmente son usados en C/C++ para representar cifras exponenciales.

### 2.3.1.15. Circuito integrado TL082

Este dispositivo es usado en el proyecto en dos (2) etapas distintas debido a que internamente posee dos (2) amplificadores operacionales. La primera consiste en un buffer o seguidor que preserva el voltaje proporcionado por la salida del electrodo 1230. En la segunda etapa funciona como un amplificador brindando una ganancia en el voltaje de salida proveniente de la señal entrante de la primera etapa o buffer. Esta serie de conexiones se realiza de manera externa por medio de sus pines. Este circuito integrado es compatible con el CI LF353. Este circuito integrado tiene un amplificador operacional doble con ancho de banda de 4MHz, alta velocidad, entradas de alta impedancia JFET, y bajo consumo de potencia.

(González, 2017).

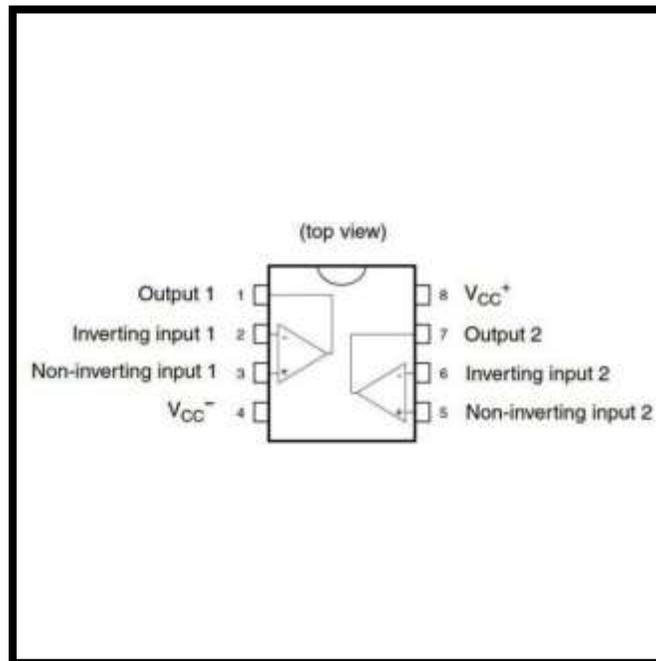


Figura 6

Figura 6: Esquema interno del CI TL082. Fuente: (Electrónicos Caldas, 2016).

### 2.3.1.16. Circuito integrado LF353

Este circuito integrado es usado en el proyecto para conformar un circuito acondicionador de señal conocido como el puente de Wheatstone. Encargándose de realizar una etapa diferencial que consiste en recepcionar la salida del puente que a su vez recibe como señal de entrada la proporcionada por el sensor de temperatura PT100, para que posteriormente realice una segunda etapa de amplificación recibiendo en la entrada el voltaje proveniente del amplificador

diferencial. Este circuito integrado contiene un amplificador operacional doble con ancho de banda de 3 MHz, alta velocidad, entradas de alta impedancia JFET, bajo ruido, y bajo consumo de potencia.

(González, 2017).

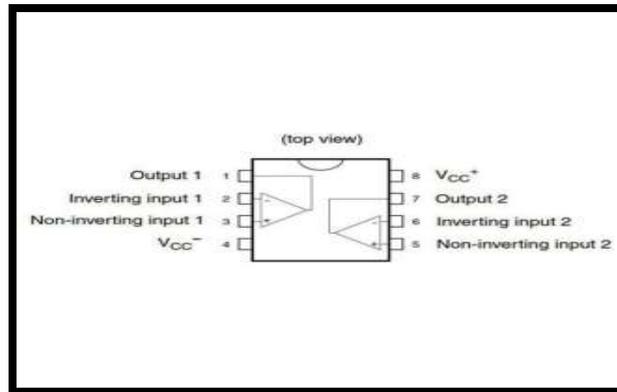


Figura 7

Figura 7: Esquema interno del CI LF353. Fuente: (Electrónicos Caldas, 2016).

### 2.3.1.17. Electrodo para pH HI 1230B

Electrodo	Parámetro	SN	Recomendado para
HI 1230B	pH	0227134N	HI 8424

Descripción: Cuerpo de plástico, Electrodo de pH combinado

Este electrodo es fabricado por Hanna Instruments Inc. Electrodo de material epoxico (ultem) de pH con conector BNC y 1m de cable. El electrodo HI 1230B es ideal para medidas en campo y usos generales. Se puede utilizar con cualquier pH metro del mercado. El material del que está fabricado es ultem, tiene punta esférica, y la unión es de cerámica.

(Hanna, 2015).



Figura 8

Figura 8: Electrodo para medición de pH HI 1230B. (Hanna Instruments Inc., 2015).

### **2.3.1.18. Sensor de temperatura PT100**

Esta sonda de medir temperatura es la usada en el proyecto, para lograr esta función aprovechando sus características de precisión. Este sensor de temperatura consiste en un alambre que a  $16^{\circ}\text{C}$  posee una resistencia eléctrica de  $107\Omega$ , pero que, al aumentar su temperatura, también aumentará su resistencia eléctrica por encima de dicho valor inicial. Al aumentar la temperatura se produce un incremento de resistencia no lineal. Industrialmente estos sensores están constituidos a base de platino encapsulados de forma similar a la termocupla.

(Sulaeman, 2011).



Figura 9

Figura 9: Sensor de temperatura PT100. Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.co>.

### 2.3.2. Etapa teórica química del proyecto

La etapa teórica abarca la fase de diseño del proyecto, describiendo de manera gradual los avances que lo construyen. Es de resaltar que se usa el concepto de solución química, la cual se define como una sustancia cualquiera en estado líquido cuya concentración es materia de estudio.

(González, 2017).

#### 2.3.2.1. Características de los sulfuros

Los sulfuros son compuestos químicos generalmente minerales que contienen el elemento azufre. Están presentes en las aguas residuales debido a muchas causas diferentes, que se han estudiado hace algunas décadas.

- Características químicas

Los sulfuros hechos a base de metales pesados son menos solubles que los que están compuestos por no metales. Los sulfuros se disuelven mejor a un nivel de pH más alto, lo cual quiere decir que a un nivel menor de este índice habrá menos disolución de sulfuros en la concentración de una sustancia. El índice de pH es el grado de acidez o basicidad de una solución, se cuantifica en una escala de 0 a 14, donde 7 indica un valor neutro como por ejemplo el del agua. Para valores menores de 7 hay mayor concentración del ion<sup>22</sup> de hidrogeno lo que da como resultado una solución cada vez más ácida, mientras que para valores mayores de 7 hay menor concentración del ion de hidrogeno lo que da como resultado una solución cada vez más básica o alcalina.

- Alteración de los sulfuros

Con el paso del tiempo solo los minerales formados a base de los metales más nobles y duros se mantienen hasta hoy; Es el caso del cinabrio y la esperrilita. La mayoría de los sulfuros cambian siendo susceptibles de reaccionar con otros elementos para formar compuestos diferentes debido a procesos como el de meteorización.

- Sulfuros más comunes en aguas residuales

El sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) es el compuesto que más frecuentemente se encuentra en esta clase de aguas. Tiene un olor característico a huevos podridos. Se forma como consecuencia de la reducción biológica de sulfatos, o de la descomposición de material orgánico. Este proceso ocurre formándose durante todo el recorrido de la tubería colectora de aguas residuales.

---

<sup>22</sup> Ion: Es un átomo o grupo de átomos cuya carga eléctrica no es neutra, sino que tiene un signo positivo (+) o negativo (-). (Venemedia, 2014).

Por ser de carácter gaseoso el sulfuro de hidrogeno se manifiesta en el cuerpo humano con síntomas de malestar. Al principio molesta por su desagradable olor, pero una persona que se encuentre expuesta a este gas por mucho tiempo, puede dejar de percibirlo, poniendo en riesgo su salud. El sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) que se encuentra disuelto en el agua se conoce como ácido sulfhídrico.

(Marcos Ruiz, S., Asensio, J. S., Pinillos, S. C., & Bernal, s. f.).

### **2.3.2.2. Tratamiento químico del agua residual en la ciudad**

El tratamiento que se le da a las aguas residuales en Bogotá se resume en procedimientos específicos. La captación o recolección se hace a través de la tubería de la ciudad, en donde se realiza por aparte la recepción de aguas lluvias para evitar la mezcla con agua residual. En el pretratamiento se le agregan sustancias como cloruro férrico para juntar las partículas sólidas, formando grumos para facilitar el filtrado. Con el tratamiento primario es necesario que el agua con grumos permanezca en reposo durante tres horas con el fin de que se haga la sedimentación de residuos sólidos por lo que el agua sin lodo negro es regresada al río Bogotá. En el proceso conocido como tratamiento de lodos, le es retirado el sobrante de agua a este material bajo una temperatura de  $35^{\circ}C$ , al final del cual queda convertido en abono orgánico. Finalmente se produce gas metano mediante un proceso de producción de bio gas.

Los sulfuros por tener condiciones de toxicidad muy altas para la salud humana se intentan eliminar o separar de las aguas residuales. Existen varios métodos para la detección de sulfuros, entre los que se pueden mencionar: El método del azul de metileno que se basa en la reacción del anión  $S^{2-}$  (azufre) con  $FeCl_3$  (cloruro férrico) y DPD (dimetil p-fenilendiamina) para producir azul de metileno. Se añade al medio de reacción fosfato amónico para eliminar la interferencia de color debido al cloruro férrico. Este método sirve para determinar concentraciones de hasta  $20mg/L$  de  $S^{2-}$ . El método de determinación yodo métrica de sulfuros se basa en la valoración del  $S^{2-}$  mediante oxidación con yodo que lo transforma en azufre elemental. Este método es útil tanto para la estandarización de los patrones de sulfuro usados en el método anterior, como para efectuar valoraciones directamente en muestras de agua. Finalmente se encuentra el método del electrodo selectivo de iones (ESI) como técnica electroquímica de análisis que se basa en los procesos que tienen lugar en las superficies<sup>23</sup> de los electrodos o entre los electrodos de una celda, y que producen cambios en algún parámetro electroquímico (potencial, intensidad de corriente, conductancia, etc.) o en alguna magnitud relacionada con el paso de corriente (cantidad del analito<sup>24</sup> depositada en un electrodo durante la electrolisis)

<sup>23</sup> Superficies: O interfaces se refiere al contacto que se produce entre las terminales de cada uno de los electrodos.

<sup>24</sup> Analito: Es la cantidad de un compuesto, elemento, o ion, etc., separada para poder ser cuantificada durante un proceso. (Méndez, 2011).

Estas variaciones se pueden utilizar para obtener información cualitativa y cuantitativa de la sustancia.

(Romero Rojas, s. f.).

### **2.3.2.3. Molaridad de una solución**

La molaridad se define como la cantidad de soluto expresada en moles disuelta en un litro de solvente. Es decir:

$$M=n/V = m/PM*1/V$$

En donde M representa la molaridad, n representa el número de moles de soluto, V representa el volumen dado en litros, m representa la masa del soluto en gramos, PM representa el peso molecular dado en gramos/mol.

Para el caso del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), sustancia utilizada durante el proceso de mediciones de sulfuros dentro del proyecto, fue necesario hacer el cálculo de molaridad para líquidos, en donde se requiere saber el volumen del reactivo (H<sub>2</sub>S) para preparar una solución a base de este compuesto. Es así como se preparan seis frascos de diferente concentración molar cada uno de 250mL, con:

M= {1M; 0,5M; 0,1M; 0,05M; 0,01M; 0,005M}; V=0,25L; PM=34,1g/mol se encuentra el valor de n (moles), con el cual a su vez se calcula el valor de m (gramos). Sabiendo que la densidad de un líquido es igual al cociente de su masa sobre su volumen:

$$D=m/V_s$$

Conociendo también el valor de la constante de densidad del ácido sulfhídrico que tiene un valor de D=1,189g/mL, se halla el valor de V<sub>s</sub> que es el volumen del ácido sulfhídrico a disolver en el agua contenida por cada uno de los frascos.

(Petrucci, R. H., Harwood, W. S., Herring, F. G., & Pumarino, s. f.).

### **2.3.2.4. Normalidad de una solución**

Se define como la cantidad de peso molecular total de un compuesto o de equivalentes gramo sobre la cantidad de solvente líquido cuantificado en litros. Lo cual se representa como N= #Eq-Gr/1L.

Para el presente proyecto se emplea el concepto de que la normalidad de una solución también es igual a la molaridad multiplicada por el número de H<sup>+</sup> que tenga un ácido, o por el número de OH<sup>-</sup> que tenga un alcalino. Es decir:

$$\text{Normalidad del HCl} = M * (\# \text{H}^+)$$

$$\text{Normalidad del KOH} = M * (\# \text{OH}^-)$$

Por lo cual es posible afirmar que todas las concentraciones de las sustancias (HCl, KOH, H<sub>2</sub>S) utilizadas para la realización de este proyecto expresadas en forma molar equivalen a ser expresadas en forma normal.

(Brady, J. E., & Humiston, s. f.).

### 2.3.3. Etapa teórica electroquímica del proyecto

La electroquímica es una parte de la química que trata de la relación entre las reacciones químicas y las corrientes eléctricas y de la conversión de la energía química en energía eléctrica y viceversa. Estudia las corrientes y voltajes eléctricos producidos por reacciones químicas, del mismo modo que analiza los fenómenos químicos causados por la energía eléctrica.

La conductividad eléctrica en una solución consiste en la capacidad de mover cargas de esta naturaleza a través del medio líquido. En agua destilada es poca la conductividad que se tiene, pero si esta agua recibe solventes tales como son las sales se convertirá en una mezcla de iones con carga eléctrica, los cuales aumentaran la electricidad de acuerdo con su movilidad y cantidad de concentración en ese medio.

Uno de varios ejemplos, es el del cloruro de sodio (NaCl), disuelto en agua. Al sumergir dos (2) electrodos uno con carga positiva y el otro con carga negativa, hará que los iones  $\text{Na}^+$  se dirijan al electrodo de carga negativa, mientras que los iones  $\text{Cl}^-$  serán atraídos por el electrodo con carga positiva, buscando cada cual una neutralización de sus cargas. Como consecuencia se produce el flujo de una corriente eléctrica, y una diferencia de potencial tanto en el circuito interno del agua, como en el circuito externo. La magnitud de estas propiedades eléctricas es establecida por el área de los electrodos, su distancia, la cantidad de concentración de iones, junto a su naturaleza eléctrica.

(CHang, s. f.).

La conductancia se define como el inverso recíproco de la medida de la resistencia, lo cual se representa como:  $G=1/R$  Y su unidad es el mhos ( $\mathcal{O}$ ), o Siemens (S). Se usa generalmente para el estudio de las soluciones la unidad factor de  $10^{-6}$  que es el micro Siemens ( $\mu\text{S}$ ). La conductividad depende del número de iones y su movilidad. Al hacer el análisis de conductividad teniendo en cuenta la temperatura se produce su variación de  $2\%/^{\circ}\text{C}$  en sales neutras. El coeficiente de temperatura de la conductancia (factor k) varía entre 0,5 a 3.

La medida de conductividad requiere de la compensación en temperatura de la solución con respecto a la temperatura estándar escogida de  $25^{\circ}\text{C}$ . Esta compensación suele ser automática, consistiendo en un termistor y una resistencia  $R_n$ .

(Sarría, V., Parra, S., Rincón, Á., Torres, R., & Pulgarín, s. f.).

Tabla 1

Temperatura de la muestra 25 °C	Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$
Agua ultrapura	0.05
Agua de alimentación a calderas	1 a 5
Agua potable	50 a 100
Agua de mar	53
5% NaOH	223
50% NaOH	150
10% HCl	700
32% de HCl	700
31% $\text{HNO}_3$	865

Tabla 1: Índice de conductividad de algunas sustancias. Fuente: Teoría electromagnética 7° edición, Hayt. W. H.

Baterías: Una batería es una celda (recipiente, contenedor) electroquímica, o un conjunto de celdas electroquímicas combinadas que pueden servir como fuente de corriente eléctrica a un voltaje constante. Aunque, en principio, una batería funciona igual que las celdas electroquímicas la batería tiene todos los componentes necesarios sin requerir aditamentos como lo es un puente salino<sup>25</sup>. Algunas clases de baterías son: La batería de celda seca que no contiene un elemento fluido. La batería de mercurio que tiene muchas aplicaciones en medicina y en la electrónica, pero es más costosa que la celda seca común. El acumulador de plomo, que se usa comúnmente en los automóviles, está compuesta por seis (6) celdas idénticas ensambladas en serie. Baterías de ion Litio se compone de grafito en cuyos diminutos espacios se acumulan iones de Litio. Celdas de combustible a base de combustibles fósiles pero la desventaja es que la conversión de este combustible en energía eléctrica es un proceso poco eficiente.

(CHang, 2007).

### **2.3.3.1. Calculo de la concentración de sulfuros por medio de un electrodo para pH**

El método para hallar la cantidad de sulfuros en una solución usando el electrodo para pH (HI 1230B) consiste en:

Hacer mediciones de pH, milivoltios, y concentración, en dos soluciones diferentes, que representan los dos extremos máximo y mínimo de los niveles del índice de pH. El pH se representa mediante una escala de valores que van desde cero (0) que es el valor mínimo, hasta catorce (14) que es el valor máximo describiendo la condición de acidez de una sustancia.

<sup>25</sup> Puente salino: En electroquímica es un conector que une dos (2) semiceldas de una celda galvánica o pila voltaica.

Los índices de 0 a 6 corresponden a sustancias ácidas.  
 El índice 7 corresponde a sustancias neutras.  
 Los índices de 8 a 14 corresponden a sustancias básicas.  
 A las sustancias básicas también se les denomina alcalinas.

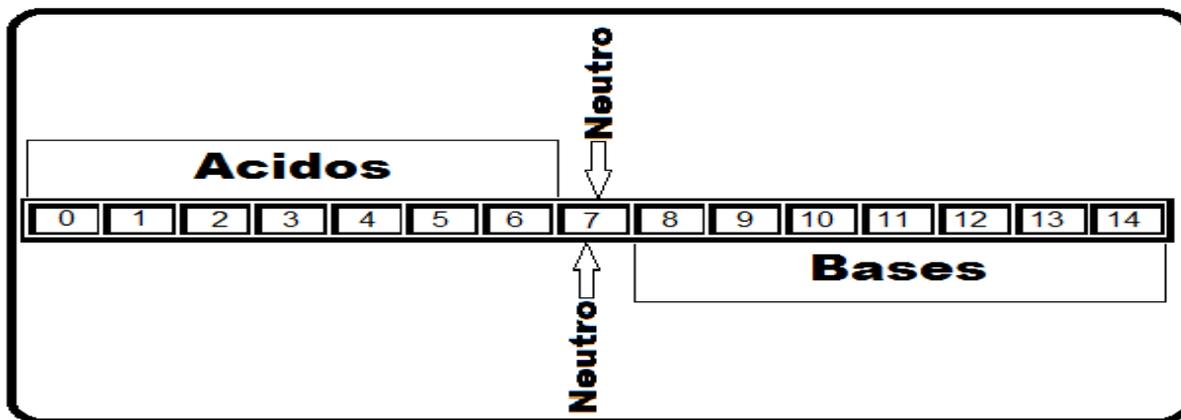


Figura 10

Figura 10: Escala índice de pH. Fuente: Química analítica moderna, Harvey y Rodríguez.

Las soluciones son Ácido Clorhídrico (HCl) representativo de los ácidos e Hidróxido de Potasio (KOH) representativo de las bases.

Tabla 2

<b><u>Sustancia</u></b>	<b><u>pH</u></b>	<b><u>Clasificación</u></b>
Ácido Clorhídrico (HCl)	Aproximadamente 0	ácido
Hidróxido de Potasio (KOH)	Aproximadamente 14	base

Tabla 2: Clasificación de las sustancias a utilizar en la etapa práctica. (González, 2017).

Registrando, los valores de pH, milivoltios, y concentración, se obtiene un patrón de la respuesta dada por el electrodo HI1230 de pH. Con ese patrón se puede determinar la característica del comportamiento de las mediciones del electrodo, con lo cual finalmente, es realizado el mismo proceso con los sulfuros para determinar su cantidad de concentración. El sulfuro piloto a utilizar debe ser similar al representativo de las aguas residuales que es el ácido sulfhídrico.

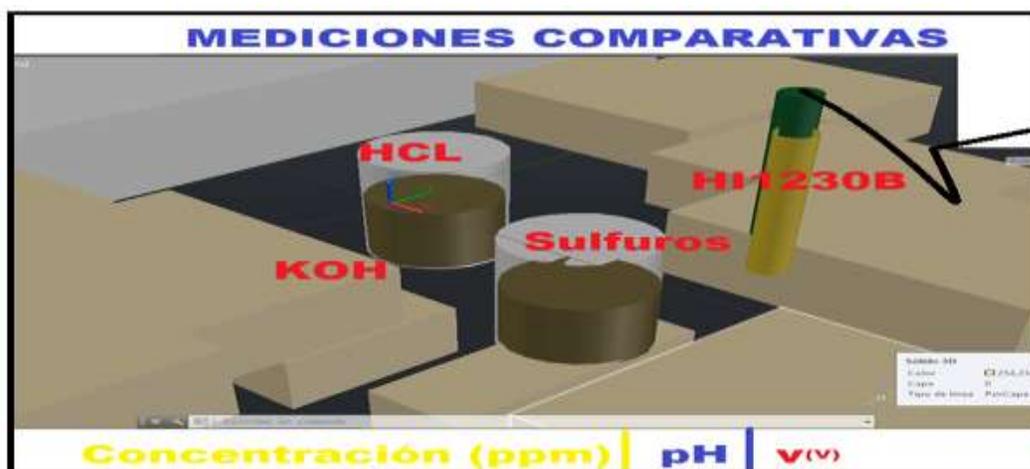


Figura 11

Figura 11: Método de medición de sulfuros durante el proyecto. AutoCAD 2.016.

En la figura 11 las sustancias ácido clorhídrico (HCl), e hidróxido de potasio (KOH) van cada una por aparte y no diluidas en una misma solución, como es el caso de los sulfuros. El método se puede explicar usando mediciones comparativas en donde conociendo dos (2) de las variables es posible encontrar el valor numérico de la tercera.

Tabla 3

ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de potasio (KOH)			sulfuros		
pH	mv	[ ]	pH	mv	[ ]
conocida	?	conocida	conocida	conocida	?

Tabla 3: Ejemplo del principio analítico del proyecto. Concentración se representa por el símbolo [ ]. Milivoltios se representa por el símbolo (mv). (González, 2017).

Aunque es factible también hallar dos de las tres variables conociendo tan solo una, lo más acertado en busca de la exactitud es que se realice la operación como se plantea en los párrafos precedentes.

El pH describe la cantidad de acidez o basicidad de una determinada sustancia líquida. Se describe mediante la expresión matemática:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Lo cual quiere decir que esta medida es igual al logaritmo del inverso de la concentración de los iones de hidrogeno expresado en moles sobre litro (mol/L). Un ácido tiene una concentración de iones de hidrogeno  $\text{H}^+$  mayor que la del agua. El caso contrario es el de una base que tiene menor concentración de iones hidrogeno que la del agua.

La medición del pH puede ser realizada mediante un electrodo de vidrio o un transistor de ISFET. El electrodo de vidrio es un tubo con una membrana hecha en

este mismo material especialmente sensible para detectar los iones de hidrogeno. En la parte interna de esta membrana se encuentra una solución de cloruro tampón, de pH constante, dentro de la cual va inmerso un hilo recubierto de plata. Al introducir el electrodo en el líquido se produce una diferencia de potencial o voltaje asociado a la concentración de los iones de hidrogeno. Si este potencial es superior al potencial interno del electrodo se produce una lectura positiva, en caso contrario se producirá una lectura negativa.

Existe una relación entre la variación de temperatura y la del pH. A pH constante se obtienen 0,2mV por grado centígrado ( $^{\circ}\text{C}$ ). Es necesario que haya una compensación de temperatura para que se consiga una medición fiable de temperatura, debido a que el instrumento que hace esta labor emite su lectura en unidades de pH y no de milivoltios. Un termocompensador, o sonda de resistencia, solamente compensa la relación tensión-temperatura del electrodo de vidrio asegurando la medición real del pH ante su temperatura real. No se hace la detección de la variación del pH generado por la temperatura real de cada una de las soluciones.

El potencial de oxidación reducción (redox) es la medida que presenta una sustancia a convertirse en sustancia oxidadora o reductora de acuerdo con sus características electroquímicas. Se usa generalmente un electrodo de metal noble para obtener la magnitud de óxido-reducción de una sustancia disuelta en agua. La diferencia existente entre el potencial dado por un electrodo de referencia y un electrodo de metal noble da como resultado el potencial de oxidación-reducción.

(Solé, 2012).

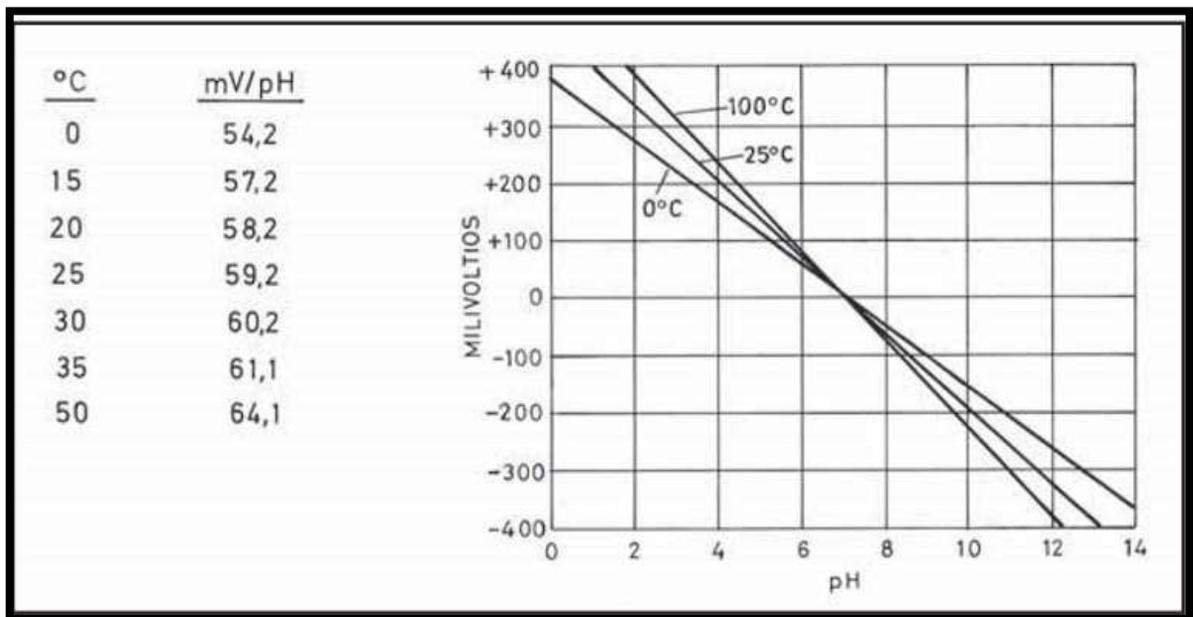


Figura 12

Figura 12: Relación entre voltaje-pH en función de la temperatura. (Solé, 2012).

La pendiente de la recta de temperatura producida por la combinación entre el voltaje y el índice de pH surge de la siguiente ecuación:

$$v=v_0-0,05917*\text{pH}$$

En esta ecuación reemplazando el valor inicial de voltaje por  $v_0=0,41419\text{v}$  se obtiene:

$v=0,41419-0,05917*\text{pH}$ , en donde con tres (3) valores, extremos y centro de pH se calcula un subsecuente valor de v.

$$\text{Con pH}=0 \quad v=0,41419\text{v}$$

$$\text{Con pH}=7 \quad v=0$$

$$\text{Con pH}=14 \quad v=-0,41419\text{v}.$$

Nótese que la expresión  $-0,05917*\text{pH}$  en voltios representa la pendiente de la recta a  $25^\circ\text{C}$ .

En el caso concreto del proyecto de transductor inteligente, la compensación automática de temperatura no es necesaria, porque la temperatura del ambiente se considera como un valor irrelevante que no afecta decisivamente la magnitud a medir que es la cantidad de concentración de sulfuros. El sensor de temperatura PT100 se incorporó al módulo del transductor inteligente con el objeto de medir esta magnitud de la muestra confirmando en esta forma las condiciones establecidas inherentes al diseño del proyecto para obtener las lecturas.

(Bier, 1987).

## Capítulo 3: Marco metodológico

### 3.1. Tipo de investigación experimental correlacional

En esta fase se describen una serie de experimentos concatenados que facilitan la parte práctica del proyecto como producto final. Inicialmente el acondicionamiento de señal del transductor inteligente se va incorporando progresivamente mediante la realización de prácticas en donde se analiza la curva de comportamiento de las sustancias de prueba que son ácido clorhídrico (HCl), e hidróxido de potasio (KOH). El acondicionador está conformado por el electrodo sensor de pH 1230, que va conectado con el amplificador TL082. La primera actividad de laboratorio se llevó a cabo con el electrodo HI1230 midiendo las variables de las diferentes sustancias. (Sampieri et al., 2003).

### 3.2. Establecimiento de las hipótesis

Es necesario establecer en este punto que el prototipo desarrollado por los diseñadores del proyecto, solo ha de cumplir con su función de detección de la sustancia para la cual fue creado, siendo esta la única disuelta en una solución con agua. Lo anterior significa que, se hará la medición de sulfuros en una muestra de agua residual que previamente haya sido tratada dejando únicamente este contaminante sin la presencia de ninguna otra sustancia en la solución, o en su defecto se realizará la medición en una muestra recreada en el laboratorio consistente en una solución mezcla de agua con sulfuros, como la que se presenta en el numeral de “resultados y conclusiones” de este documento.

Se tienen cuatro (4) variables en total que son:

- Concentración de ácido sulfhídrico (o de otras sustancias) [H<sub>2</sub>S] (variable dependiente).
- Índice de (pH) (variable dependiente).
- Temperatura (T) (variable independiente).
- Diferencia de potencial o voltaje (v) (variable dependiente).

La temperatura es la variable independiente porque es capaz de modificar a las variables dependientes mediante su aumento o disminución. Pero gracias al hecho de que se hará la recolección de datos a temperatura ambiente, el efecto de esta variable puede considerarse que no influye decisivamente, generando que las mediciones pasen a depender fundamentalmente de la concentración de la sustancia presente en cada uno de los experimentos. A temperatura ambiente dentro de una sustancia la temperatura, el voltaje, y la concentración son proporcionales, en tanto que el índice de pH es directamente o inversamente proporcional dependiendo de si la sustancia es un ácido o una base.

(Sampieri et al., 2003).

### **3.3. Selección del diseño apropiado de investigación**

El diseño de investigación para el presente proyecto está clasificado como experimental, subdivido en la categoría de experimentos.

- Diseño de investigación experimental

El diseño de investigación utilizado para el proyecto es este, ya que se realiza una determinada cantidad de experimentos en donde se hacen las mediciones correspondientes para cuantificar los sulfuros presentes en forma de concentración dentro de una muestra de agua residual, estudiando para esto las variables asociadas que son la temperatura, el índice de pH, y la diferencia de potencial. En este caso se manipula la variable concentración de ácido sulfhídrico, dejando la variable temperatura estable, en cada una de las mediciones para observar las lecturas que se obtienen.

(Sampieri et al., 2003).

### **3.4. Determinación de la población y la muestra**

Los resultados del proyecto no van dirigidos a un grupo de población específico si no que su aplicación busca favorecer a la población en general. La muestra de agua residual a estudiar varía en volumen, aunque en promedio se estima que el volumen para dar datos confiables sin exagerar excesos de contenido es de aproximadamente un litro (1L).

(Sampieri et al., 2003).

### **3.5. Recolección de datos**

Los datos son todos recolectados mediante mediciones que se obtienen de las diferentes prácticas de laboratorio realizadas. Los datos son recogidos reproduciendo en el laboratorio las condiciones que más se asemejan a las verdaderas condiciones que se presentan, cuando se realiza la etapa final del proyecto investigativo. En los laboratorios se toman datos de las variables del proyecto, utilizando para esto la sustancia ácido sulfhídrico, que es el agente mayormente cargado del contaminante que investiga el proyecto, y que también se presenta en la generalidad de las muestras de aguas residuales.

(Sampieri et al., 2003).

### 3.5.1. Linealización de gráficas

Las gráficas obtenidas para el proyecto, son linealizadas en el programa Excel versión 2.013 realizando el siguiente procedimiento: Se seleccionan todos los datos con el mouse; Dar click en insertar; Dar click en gráfico xy o de burbujas; Dar click en dispersión; Se escoge uno de los puntos que aparecen con el botón derecho del mouse; Dar click en agregar línea de tendencia; En la misma escoger lineal; Colocar visto en presentar ecuación en el gráfico; Colocar visto en presentar el valor R cuadrado en el gráfico. El método utilizado por este paquete de software es el de regresión lineal. La regresión lineal consiste en hallar las constantes a y b, de la ecuación general de la línea recta  $y=ax+b$ , a partir de la sumatoria de los datos de las tablas que dan forma a las respectivas gráficas.

La Linealización de las curvas de las gráficas se usa para aproximar un punto de una curva no lineal a un punto de una curva lineal. Matemáticamente resulta más fácil el análisis lineal dado que se usa solamente la primera potencia de las variables en estudio. Físicamente es más factible pronosticar el comportamiento de las magnitudes representadas por las variables.

(Billo, 2011).

### 3.5.2. Puente de Wheatstone con el sensor PT100

El puente de Wheatstone es empleado en instrumentación electrónica para determinar el valor de una resistencia no conocida utilizando para ello el equilibrio en los brazos del puente. Una de sus variaciones es montarlo con sensores, como sucede con el caso particular del proyecto del transductor inteligente, en donde se reemplaza una resistencia por el sensor PT100.

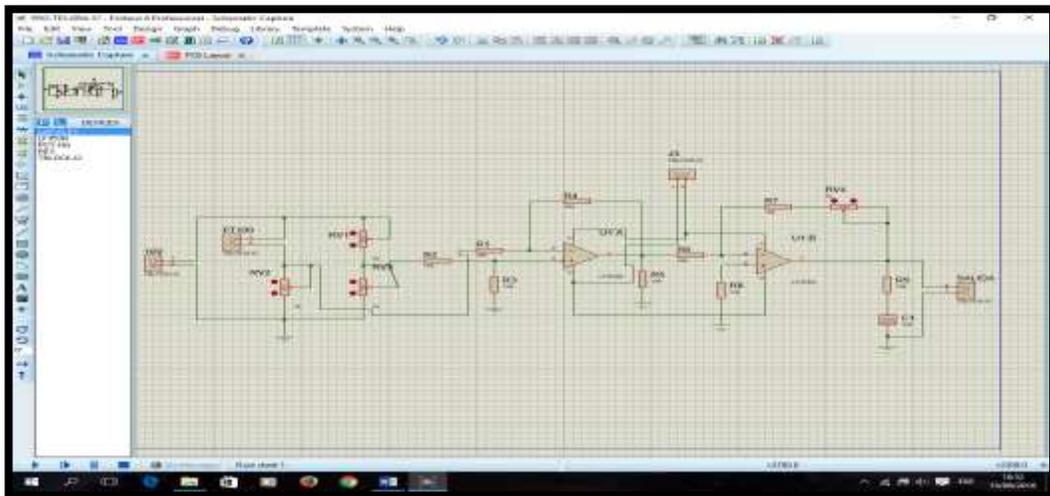


Figura 13

Figura 13: Puente de Wheatstone incluyendo el sensor de temperatura PT100. Proteus 8.

Con el circuito de la figura 13, se procede a hacer las mediciones de temperatura de las tablas y las gráficas que se observan en la sección de etapa práctica. Al puente se le coloca un voltaje CD de 10v y finalmente es enviado al amplificador LF353, tomando la salida de las terminales de su centro. El puente da cuenta de los incrementos o decrementos en resistencia y temperatura dados por la PT100.

(González, 2017).

### 3.5.3. Gráficas obtenidas con datos del sensor PT100

Con el sensor PT100 se procedió a realizar mediciones de temperatura, voltaje, y resistencia. Esto se consiguió sumergiendo la PT100 en un recipiente. Dichas experiencias fueron hechas primero con agua en el recipiente, y después con aceite en el recipiente, con el fin de obtener las curvas características ante un aumento y una disminución en la temperatura. El recipiente con agua, y con aceite se puso a calentar, luego se dispuso su enfriamiento ante la condición de ambiente, siendo medida su temperatura con una termocupla. La temperatura en el caso del agua fue variada desde 0°C hasta 90°C. Para el caso del aceite fue variada la temperatura desde 0°C hasta 95°C.

Fue realizada la implementación del circuito de la figura 13, que consiste en un puente de Wheatstone. La salida del puente es conectada a través de un par de resistencias a las entradas de un amplificador comparador de ganancia unitaria que posee una salida que va a unirse con un segundo amplificador que permite un nivel de ganancia mediante un trimmer<sup>26</sup> de realimentación en su salida. La siguiente tabla relaciona los datos obtenidos con el circuito basado en el puente de Wheatstone, al realizar cada una de las prácticas en agua.

(González, 2017).

<b>Mediciones hechas en agua con el puente de Wheatstone y el sensor de temperatura PT100</b>							
<b>TEMPERATURA SUBIENDO</b>				<b>TEMPERATURA BAJANDO</b>			
<b><math>R(\Omega)</math></b>	<b><math>T(^{\circ}C)</math></b>	<b><math>v_i (v)</math></b>	<b><math>v_o (v)</math></b>	<b><math>R(\Omega)</math></b>	<b><math>T(^{\circ}C)</math></b>	<b><math>v_i (v)</math></b>	<b><math>v_o (v)</math></b>
109,9	18,3				91,2	0,371	-3,82
	20	0,0254	-0,297	133,1	80	0,314	-3,23
111,2	26,9			129,6	70	0,265	-2,73
	30	0,0907	-0,943	125,6	60	0,214	-2,21
115,5	31			121,7	50	0,162	-1,68
119	40	0,1413	-1,46	117,9	40	0,108	-1,15
122,8	50	0,1817	-1,91	115,8	35,5		
126,6	60	0,2296	-2,36		30	0,059	-0,62

<sup>26</sup> Trimmer: Dispositivo de resistencia variable que funciona a bajo nivel de potencia.

$R(\Omega)$	$T(^{\circ}\text{C})$	$v_i (v)$	$v_o (v)$	$R(\Omega)$	$T(^{\circ}\text{C})$	$v_i (v)$	$v_o (v)$
130,5	70	0,2851	-2,87		25	0,0351	-0,378
134,2	80	0,334	-3,4				
137,4	90	0,369	-3,79				
	91,2	0,371	-3,82				

Tabla 4

Tabla 4: Mediciones de resistencia, temperatura, y voltaje realizadas con el sensor PT100, implementando el acondicionador de señal denominado puente de Wheatstone.

En donde:

- $v_i$  es el voltaje de salida del puente de Wheatstone, y al mismo tiempo es la entrada del amplificador.
- $v_o$  es la salida de voltaje proporcionada por el amplificador.

(Remitirse al circuito de la figura 13).

Tabla 5

$T(^{\circ}\text{C})$	$R(\Omega)$
18,3	
20	115,8
26,9	117,9
30	121,7
31	125,6
40	129,6
50	133,1
60	
70	
80	
90	
91,2	

Tabla 5: Temperatura subiendo-Resistencia en agua. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 14.

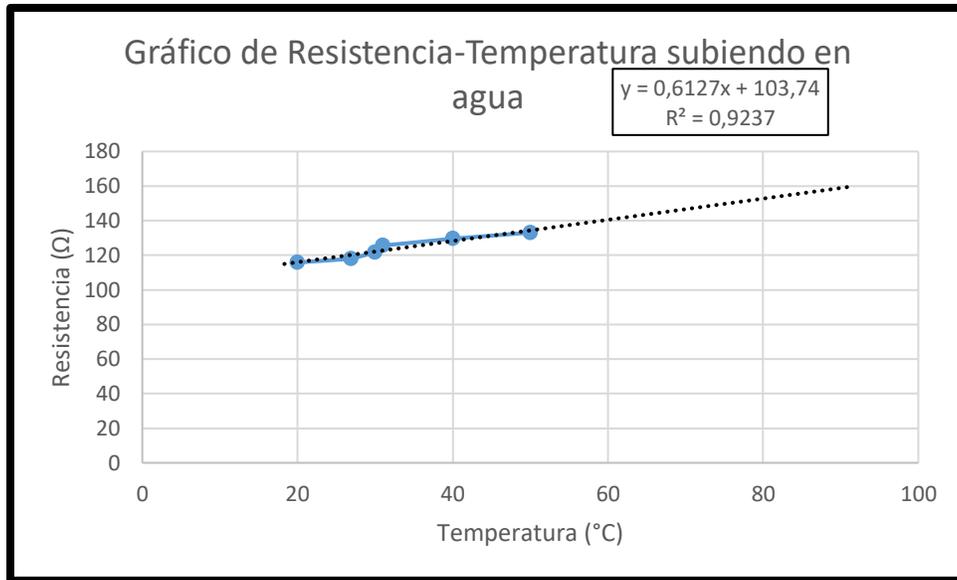


Figura 14

Figura 14: Gráfico en Excel de resultado de práctica con agua (Resistencia-Temperatura). La gráfica permite una estadística del comportamiento de la PT100. La característica de la curva es lineal. Se realiza para comprobar el aumento de la resistencia ante un aumento en la temperatura.

Tabla 6

<u>T(<math>^{\circ}\text{C}</math>)</u>	<u>R(<math>\Omega</math>)</u>
91,2	
80	133,1
70	129,6
60	125,6
50	121,7
40	117,9
35,5	115,8
30	
25	

Tabla 6: Temperatura bajando-Resistencia en agua. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 15.

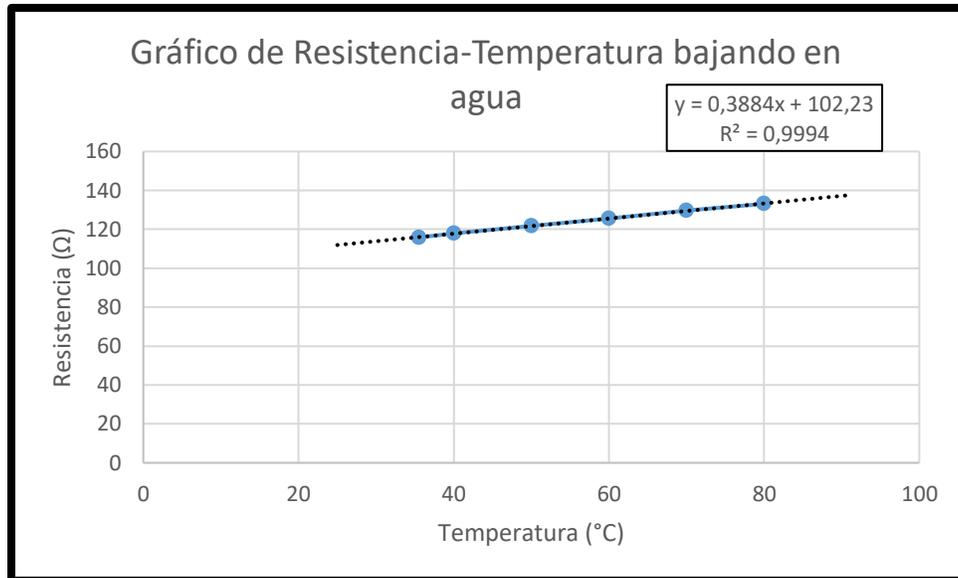


Figura 15

Figura 15: Gráfico en Excel de resultado de práctica con agua (Resistencia-Temperatura). La gráfica permite una estadística del comportamiento de la PT100. La característica de la curva es lineal. Se realiza para comprobar la variación de la resistencia ante una variación en la temperatura.

Tabla 7

<u>T(°C)</u>	<u>v<sub>o</sub>(v)</u>
18,3	
20	-0,297
26,9	
30	-0,943
31	
40	-1,46
50	-1,91
60	-2,36
70	-2,87
80	-3,4
90	-3,79
91,2	-3,82

Tabla 7: Temperatura subiendo-voltaje en agua. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 16.

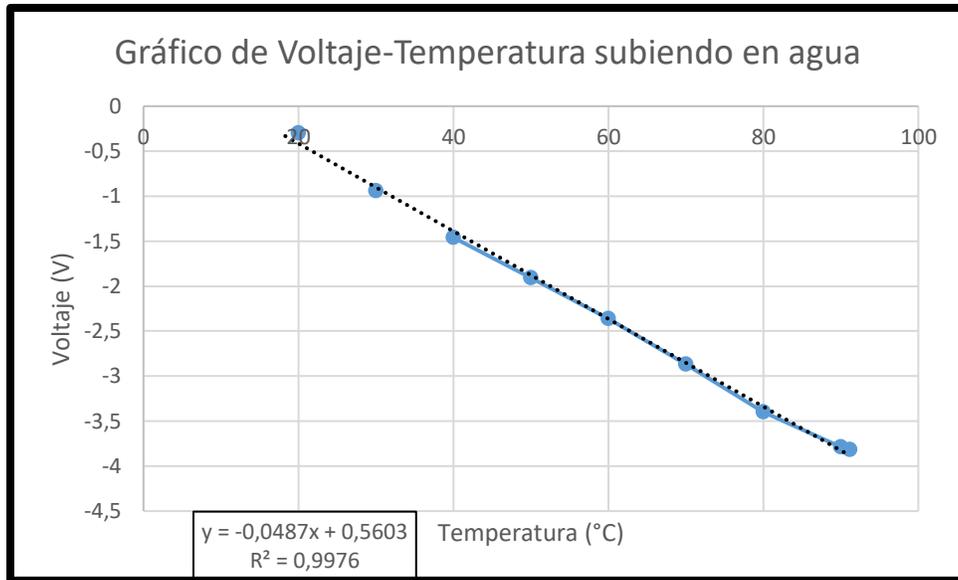


Figura 16

Figura 16: Gráfico en Excel de resultado de la práctica en agua (Voltaje-Temperatura). La gráfica permite una estadística del comportamiento de la PT100. La característica de la curva es lineal. Se realiza para comprobar el aumento del voltaje ante un aumento en la temperatura.

Tabla 8

$T(^{\circ}C)$	$v_o (v)$
91,2	-3,82
80	-3,23
70	-2,73
60	-2,21
50	-1,68
40	-1,15
35,5	
30	-0,62
25	-0,378

Tabla 8: Temperatura bajando-voltaje en agua. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 17.

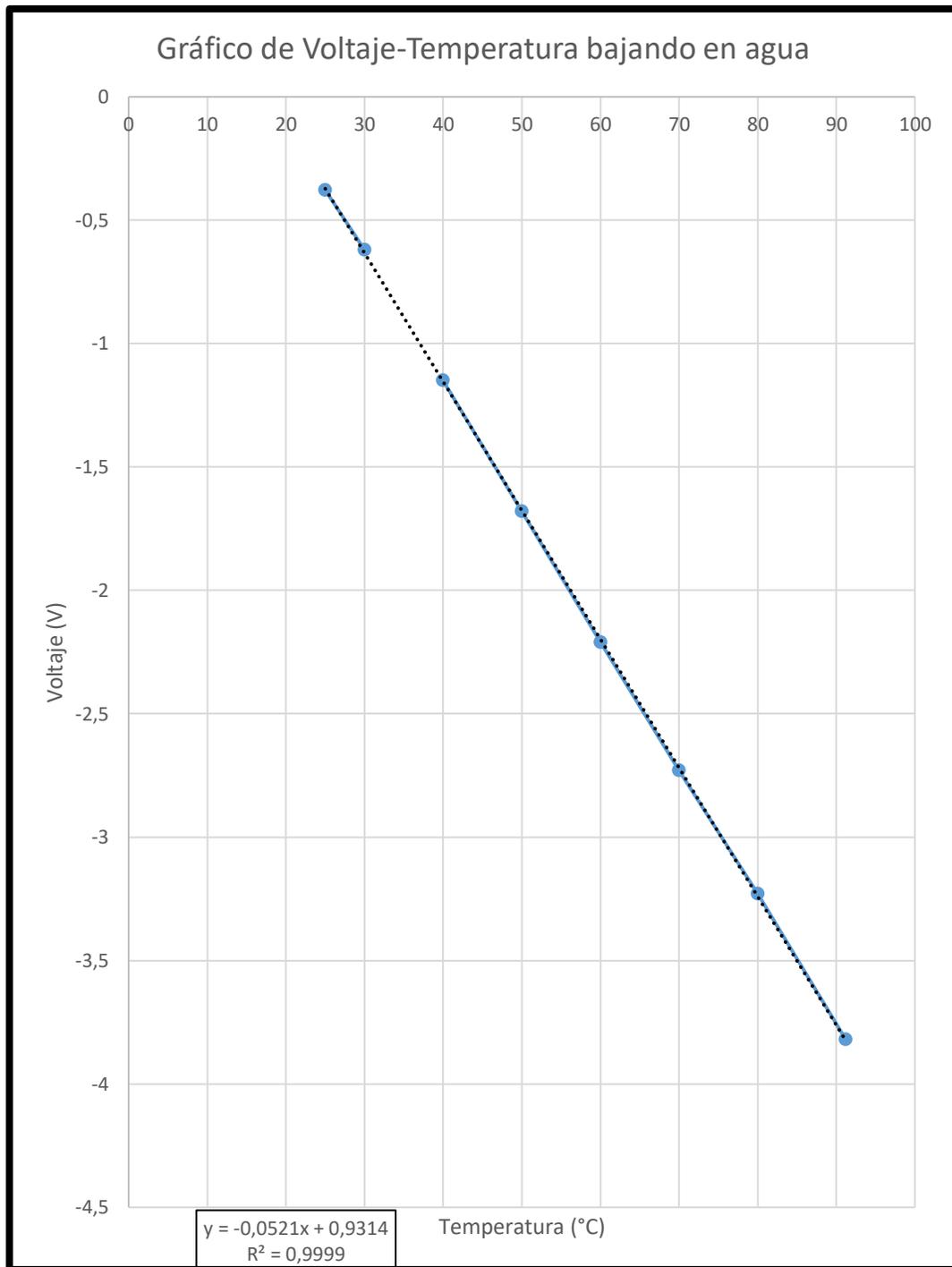


Figura 17

Figura 17: Gráfico en Excel de resultado de la práctica en agua (Voltaje-Temperatura). La gráfica permite una estadística del comportamiento de la PT100. La característica de la curva es lineal. Se realiza para comprobar la disminución del voltaje ante una disminución en la temperatura.

Tabla 9

$R(\Omega)$	$v_o (v)$
109,9	
	-0,297
111,2	
	-0,943
115,5	
119	-1,46
122,8	-1,91
126,6	-2,36
130,5	-2,87
134,2	-3,4
137,4	-3,79
	-3,82

Tabla 9: Resistencia-Voltaje ante un aumento de temperatura en el agua. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 18.

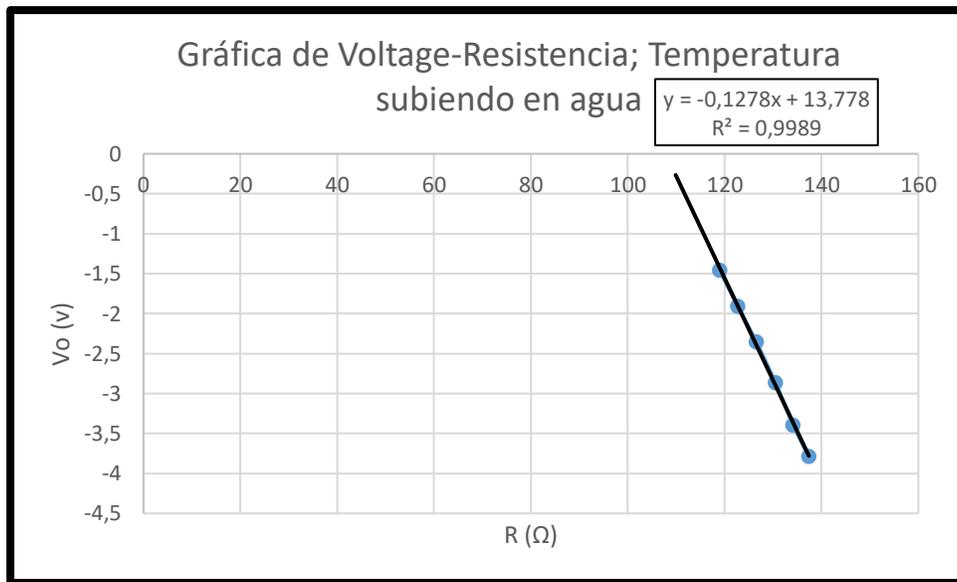


Figura 18

Figura 18: Gráfico en Excel (Voltaje-Resistencia) ante un aumento de la temperatura en el agua. El comportamiento del voltaje  $v_o$  consiste en que pasa al eje negativo dado que el amplificador presenta esta característica al subir la temperatura.

Tabla 10

$R(\Omega)$	$v_o (v)$
	-3,82
133,1	-3,23
129,6	-2,73
125,6	-2,21
121,7	-1,68
117,9	-1,15
115,8	
	-0,62
	-0,378

Tabla 10: Resistencia-Voltaje ante una disminución de temperatura en el agua. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 19.

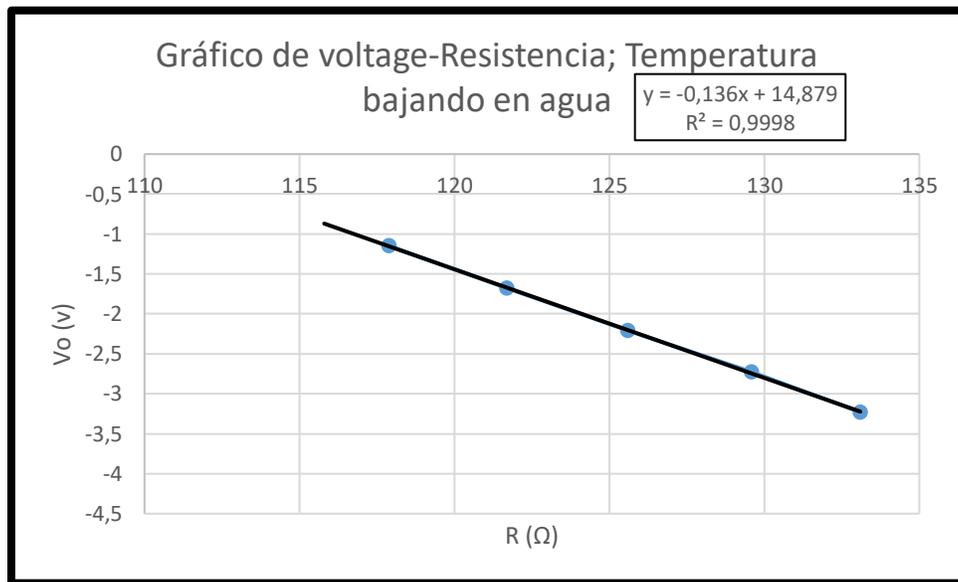


Figura 19

Figura 19: gráfico en Excel (Voltaje-Resistencia) ante una disminución de la temperatura en el agua. El comportamiento del voltaje  $v_o$  consiste en que pasa lentamente del eje negativo al positivo dado que el amplificador presenta esta característica al bajar la temperatura.

La siguiente tabla relaciona los datos obtenidos con el circuito basado en el puente de Wheatstone, al realizar cada una de las prácticas en aceite.

Tabla 11

<b>TEMPERATURA SUBIENDO</b>				<b>TEMPERATURA BAJANDO</b>			
<b><math>R(\Omega)</math></b>	<b><math>T(^{\circ}\text{C})</math></b>	<b><math>v_i (v)</math></b>	<b><math>v_o (v)</math></b>	<b><math>R(\Omega)</math></b>	<b><math>T(^{\circ}\text{C})</math></b>	<b><math>v_i (v)</math></b>	<b><math>v_o (v)</math></b>
110	19,1	-0,077	0,76	133,8	80	0,259	-2,67
110,7	20	-0,063	0,63	129,8	70	0,2	-2,07
116	30	-0,02	0,19	126	60	0,144	-1,49
120,6	40	0,033	-0,35	122,4	50	0,091	-0,95
123,8	50	0,077	-0,81	118,3	40	0,031	-0,34
127,9	60	0,28	-1,32	114,2	30	-0,027	0,271
131,2	70	0,179	-1,84		24,7	-0,048	0,492
135,4	80	0,23	-2,3				
139	90	0,281	-2,9				
140,7	95	0,328	-3,37				

Tabla 11: Mediciones de resistencia, temperatura, y voltaje realizadas con el sensor PT100, implementando el acondicionador de señal denominado puente de Wheatstone.

En donde:

- $v_i$  es el voltaje de salida del puente de Wheatstone, y al mismo tiempo es la entrada del amplificador.
- $v_o$  es la salida de voltaje proporcionada por el amplificador.

(Remitirse al circuito de la figura 13).

Tabla 12

<b><math>T(^{\circ}\text{C})</math></b>	<b><math>R(\Omega)</math></b>
19,1	110
20	110,7
30	116
40	120,6
50	123,8
60	127,9
70	131,2
80	135,4
90	139
95	140,7

Tabla 12: Temperatura subiendo-resistencia en aceite. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 20.

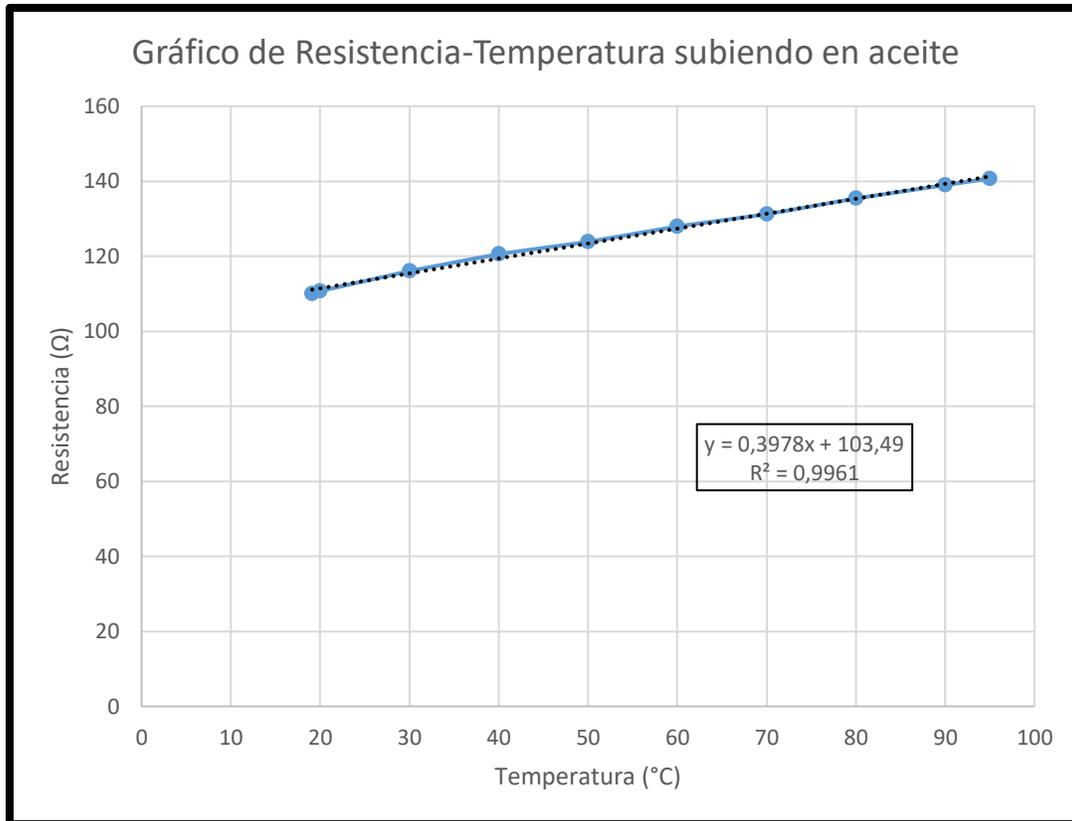


Figura 20

Figura 20: Gráfico en Excel (Resistencia-Temperatura subiendo) en aceite. La característica es lineal y de ascenso rápido.

Tabla 13

<u><math>T(^{\circ}\text{C})</math></u>	<u><math>R(\Omega)</math></u>
80	133,8
70	129,8
60	126
50	122,4
40	118,3
30	114,2
24,7	

Tabla 13: Temperatura bajando-Resistencia en aceite. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 21.

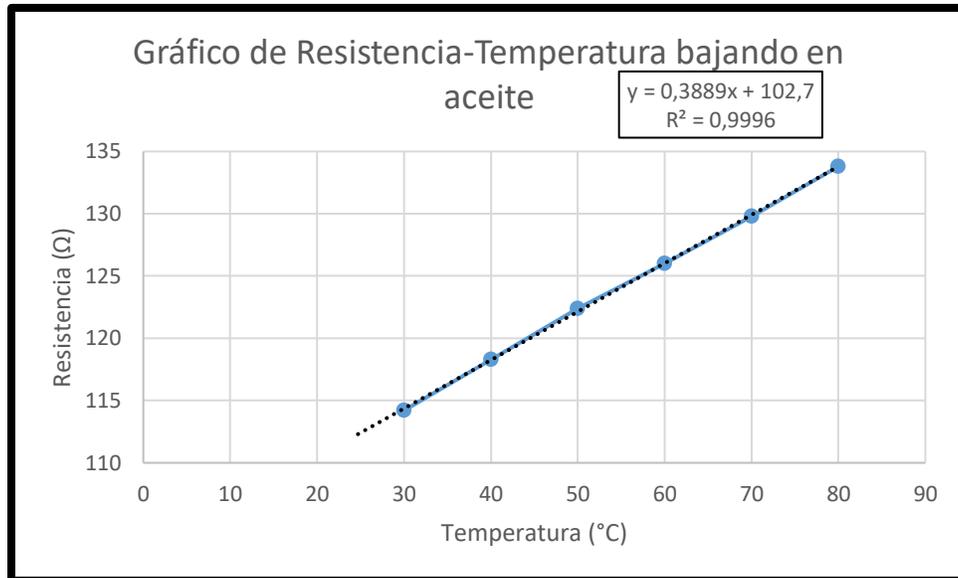


Figura 21

Figura 21: Gráfico en Excel ante disminución de la temperatura (Resistencia-Temperatura). La característica es lineal con pendiente positiva y de descenso más plano.

Tabla 14

<u>T(°C)</u>	<u>V<sub>o</sub>(v)</u>
19,1	0,76
20	0,63
30	0,19
40	-0,35
50	-0,81
60	-1,32
70	-1,84
80	-2,3
90	-2,9
95	-3,37

Tabla 14: Temperatura subiendo-voltaje en aceite. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 22.

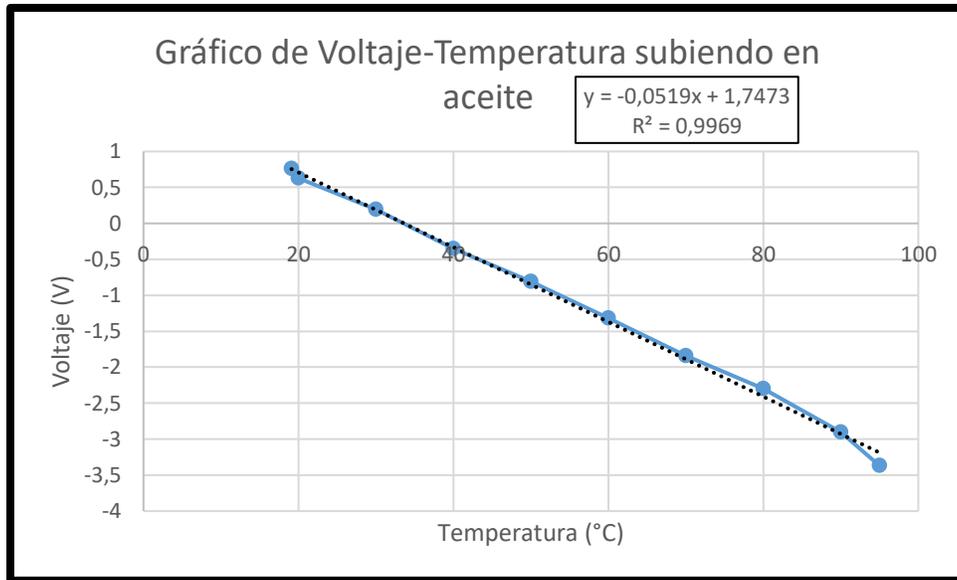


Figura 22

Figura 22: Gráfico en Excel de resultado de práctica con aceite (Voltaje-Temperatura). Se realiza esta práctica para determinar la característica de voltaje detectado por la PT100, ante un aumento de la temperatura. La práctica fue realizada con aceite mineral. Este experimento busca los datos estadísticos aportados por la PT100. Se nota aumento de la temperatura ante un aumento en el voltaje del eje negativo.

Tabla 15

<u>T(°C)</u>	<u>V<sub>o</sub>(v)</u>
80	-2,67
70	-2,07
60	-1,49
50	-0,95
40	-0,34
30	0,271
24,7	0,492

Tabla 15: Temperatura bajando-Voltaje en aceite. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 23.

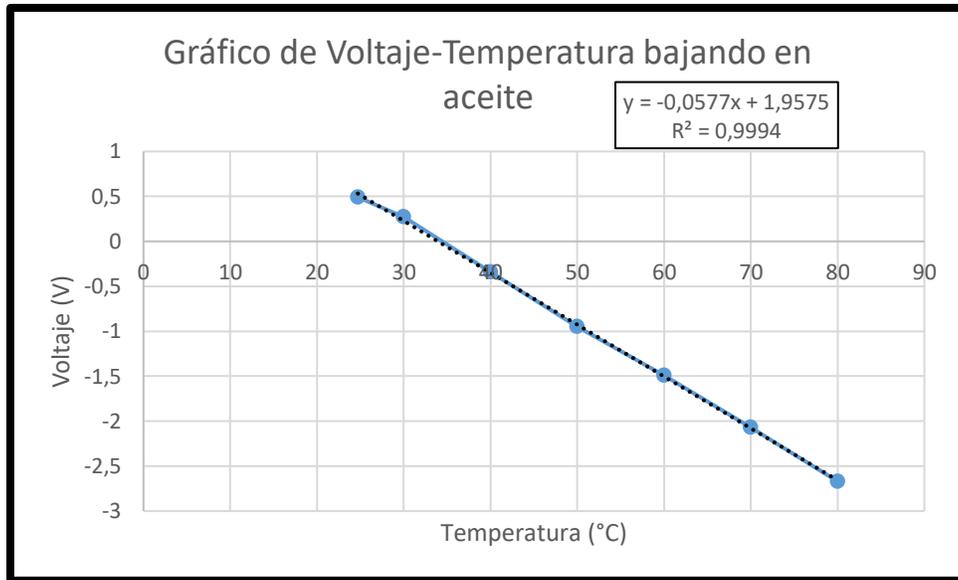


Figura 23

Figura 23: Gráfico en Excel de resultado de práctica con aceite (Voltaje-Temperatura). Se realiza esta práctica para determinar la característica de voltaje detectado por la PT100, ante una disminución de la temperatura. La práctica fue realizada con aceite mineral. Este experimento busca los datos estadísticos aportados por la PT100. Se observa una línea recta con pendiente negativa.

Tabla 16

<u>R(Ω)</u>	<u>V<sub>o</sub>(v)</u>
110	0,76
110,7	0,63
116	0,19
120,6	-0,35
123,8	-0,81
127,9	-1,32
131,2	-1,84
135,4	-2,3
139	-2,9
140,7	-3,37

Tabla 16: Resistencia-Voltaje ante un aumento de temperatura en el aceite. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 24.

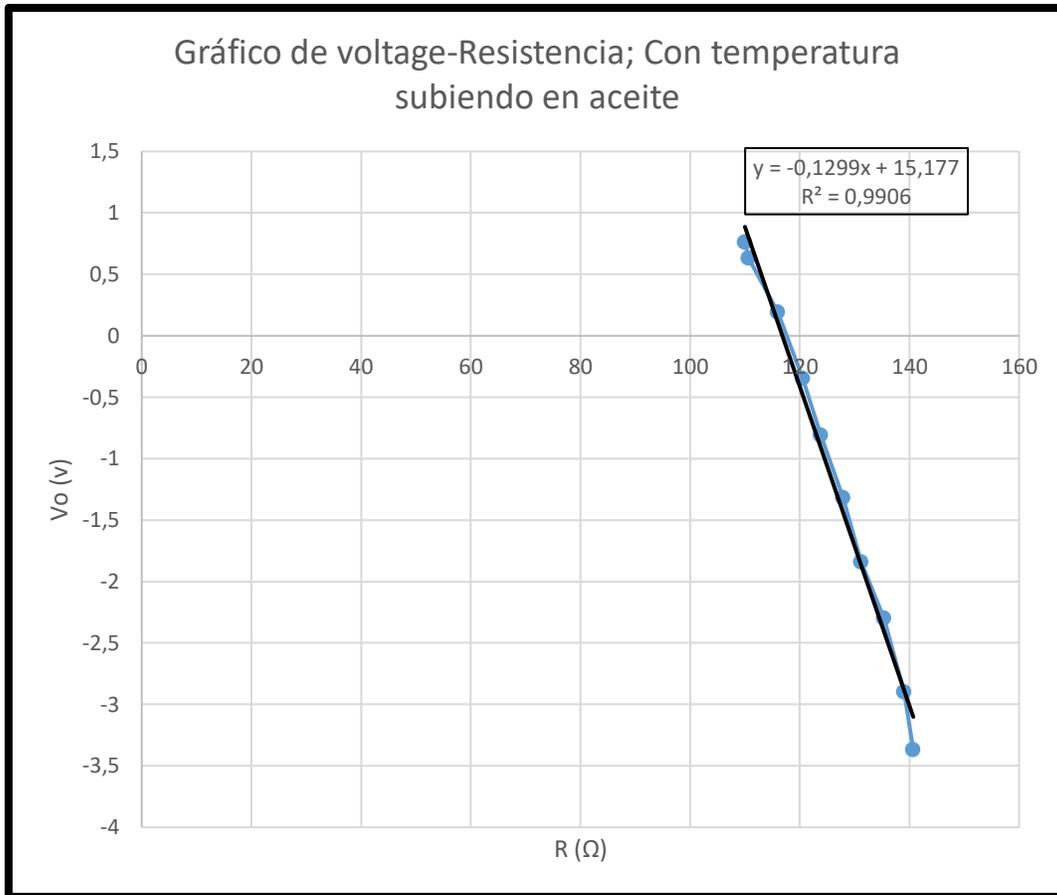


Figura 24

Figura 24: Gráfico en Excel (Voltaje-Resistencia) ante un aumento en la temperatura del aceite. La curva es una línea recta que presenta un aumento hacia el eje negativo vertical o de las ordenadas.

Tabla 17

<u>R(Ω)</u>	<u>Vo (v)</u>
133,8	-2,67
129,8	-2,07
126	-1,49
122,4	-0,95
118,3	-0,34
114,2	0,271
	0,492

Tabla 17: Resistencia-Voltaje ante una disminución de temperatura en el aceite. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 25.

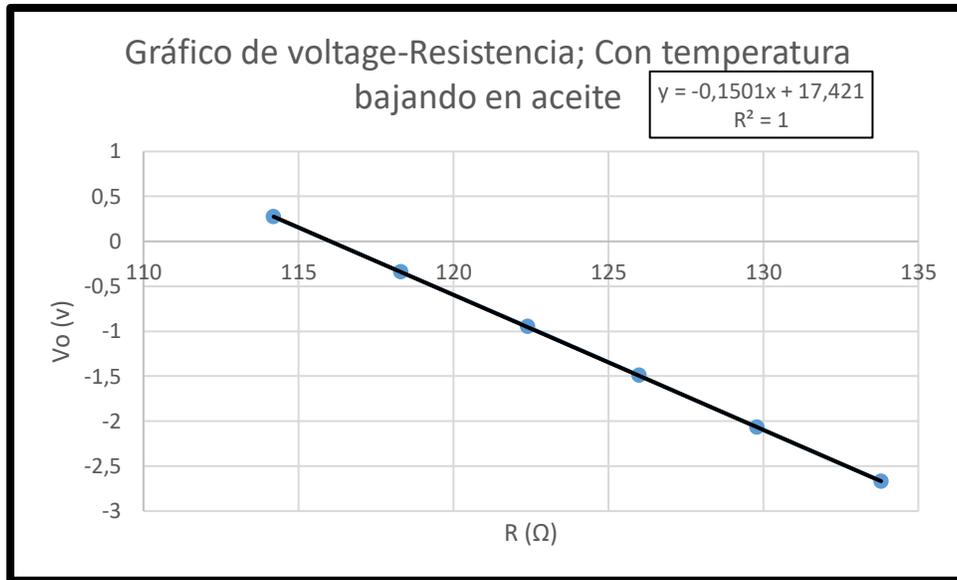


Figura 25

Figura 25: Gráfico en Excel (Voltaje-Resistencia) ante una disminución en la temperatura del aceite. La curva es una línea recta que ingresa hacia el eje positivo vertical o de las ordenadas. Esto se debe a que la salida del amplificador presenta un aumento hacia el eje positivo del voltaje al bajar la temperatura.

### 3.5.4. Mediciones de pH, milivoltios, y concentración, con el HI 1230B

Se realizó la medición de las variables de índice de pH, y voltios utilizando para esto un pHmetro (también conocido como potenciómetro) digital. El dato de concentración de las sustancias utilizadas las cuales son ácido clorhídrico (HCl), e hidróxido de potasio (KOH) se obtuvo directamente del fabricante. Esta práctica se realiza para verificar la linealización de la curva de comportamiento de los datos proporcionados por el electrodo para pH HI1230. Las dos sustancias en mención son disueltas en agua destilada partiendo de un valor inicial referenciado en cada caso a continuación. Los milivoltios medidos son los detectados por el electrodo dentro de cada una de las soluciones.

(González, 2017).

### 3.5.5. Mediciones agregando el amplificador hecho con el CI TL082

Se procedió a montar un circuito amplificador utilizando para tal efecto el CI TL082, donde se requiere obtener un nivel de voltaje de salida acondicionado para que pueda ser utilizado por la siguiente etapa de control que tiene como elemento activo a la tarjeta Arduino Mega 2560. Al respecto es necesario hablar de que las señales microeléctricas que provienen de parte de los electrodos deben pasar por una

primera fase de amplificación, conocida como un seguidor de voltaje debido a que el bajo nivel de corriente proporcionado por la salida del electrodo hace que su correspondiente nivel de voltaje tienda a desaparecer. Luego de su paso por el seguidor de voltaje la señal del electrodo pasa a ser amplificada por la segunda etapa, siendo su salida filtrada por un filtro RC.

(González, 2017).

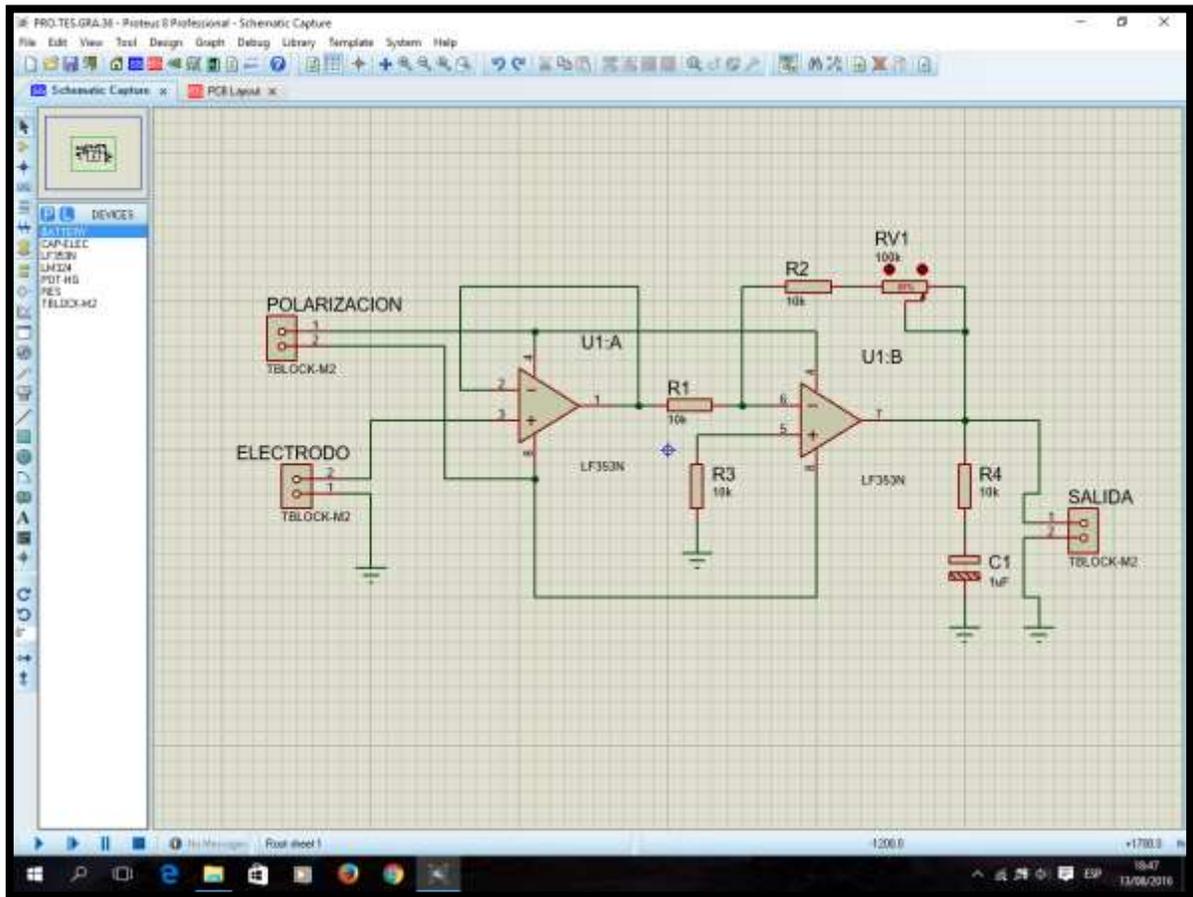


Figura 26

Figura 26: Circuito de amplificación para la señal del electrodo HI1230. Proteus 8.

- Ácido clorhídrico (HCl) empieza a ser medido desde una concentración inicial igual a uno normal (1N), siendo disuelto en agua destilada hasta un valor igual a diez a la menos dos normal ( $0,01N=10^{-2}N$ ).

Tabla 18

#	[HCl](N)	$v_i(v)$	$v_o(v)$	pH
1	1	0,279	-2,98	1,22
2	0,5	0,205	-2,28	1,32
3	0,1	0,168	-1,94	1,71
4	0,05	0,155	-1,76	1,97
5	0,01	0,131	-1,48	2,38

Tabla 18: Datos obtenidos de las mediciones hechas por el electrodo en las concentraciones de ácido clorhídrico.

En donde:

[HCl] es la concentración de ácido clorhídrico.

$v_i$  es el voltaje de entrada para la etapa del segundo amplificador.

$v_o$  es el voltaje de salida proporcionado por el segundo amplificador.

pH es el índice de pH medido en cada solución.

(Remitirse a la figura 26).

- Hidróxido de potasio (KOH) empieza a ser medido desde una concentración inicial igual a uno normal (1N), siendo disuelto en agua destilada hasta un valor igual a diez a la menos dos normal ( $0,01N=10^{-2}N$ ).

Tabla 19

#	[KOH](N)	$v_i(v)$	$v_o(v)$	pH
1	1	-0,401	4,57	12,9
2	0,5	-0,39	4,4	12,5
3	0,1	-0,377	4,22	11,72
4	0,05	-0,36	4,11	11,08
5	0,01	-0,322	3,61	8,81

Tabla 19: Datos obtenidos de las mediciones hechas por el electrodo en las concentraciones de hidróxido de potasio.

En donde:

[KOH] es la concentración de hidróxido de potasio.

$v_i$  es el voltaje de entrada para la etapa del segundo amplificador.

$v_o$  es el voltaje de salida proporcionado por el segundo amplificador.

pH es el índice de pH medido en cada solución.

(Remitirse a la figura 26).

### 3.5.5.1. Mediciones de ácido clorhídrico (HCl) con amplificador hecho con el CI TL082

Tabla 20

[HCl](N)	pH
1	1,22
0,5	1,32
0,1	1,71
0,05	1,97
0,01	2,38

Tabla 20: Concentración de [HCl]-Índice de pH. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 27.

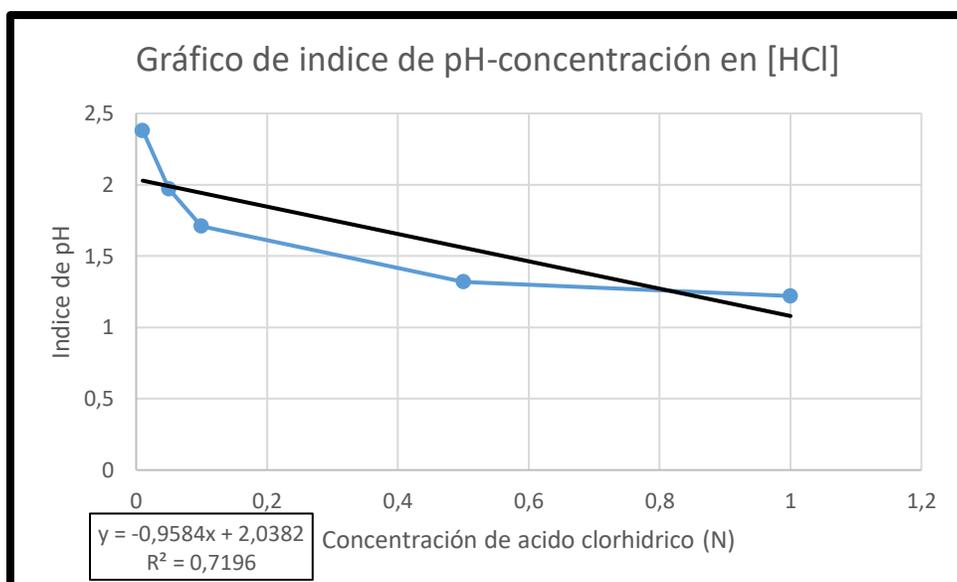


Figura 27

Figura 27: Gráfico en Excel de Índice de pH-[HCl]. Se presenta una inversa proporcionalidad porque, a medida que una magnitud aumenta la otra disminuye.

Tabla 21

[HCl](N)	$V_o$ (V)
1	-2,98
0,5	-2,28
0,1	-1,94
0,05	-1,76
0,01	-1,48

Tabla 21: Concentración de ácido clorhídrico-voltaje de salida  $V_o$ . Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 28.

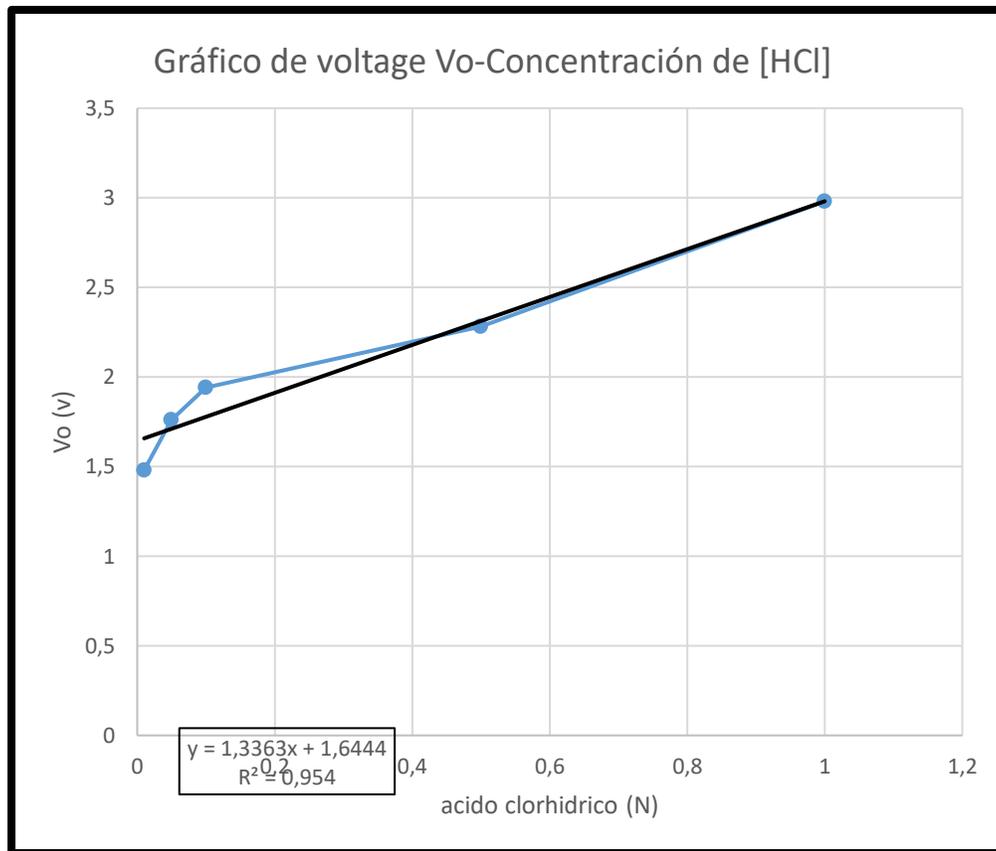


Figura 28

Figura 28: Gráfico en Excel de voltaje  $v_o$ -[HCl]. Es deducible la proporción de las dos (2) magnitudes presentando una pendiente lineal positiva.

Tabla 22

pH	$V_o(v)$
1,22	-2,98
1,32	-2,28
1,71	-1,94
1,97	-1,76
2,38	-1,48

Tabla 22: Índice de pH-Voltaje de salida  $v_o$ . Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 29.

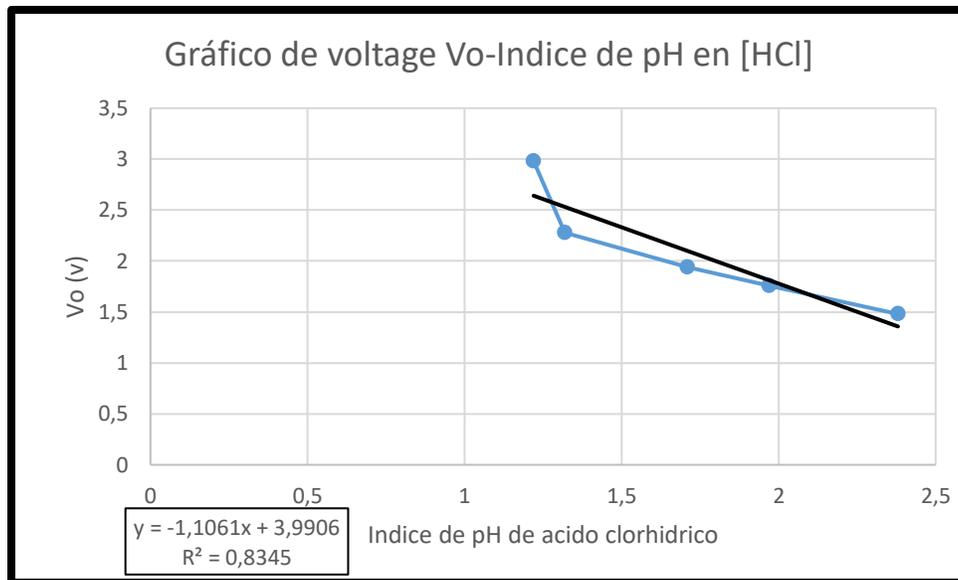


Figura 29

Figura 29: Gráfico en Excel de  $v_o$ -pH. Las dos (2) magnitudes son inversamente proporcionales. Con una disminución en la concentración, la sustancia empieza a ser cada vez más neutra aumentando su pH.

### 3.5.5.2. Mediciones de hidróxido de potasio (KOH) con amplificador hecho con el CI TL082

Tabla 23

[KOH](N)	pH
1	12,9
0,5	12,5
0,1	11,72
0,05	11,08
0,01	8,81

Tabla 23: Concentración de [KOH]-Índice de pH. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 30.

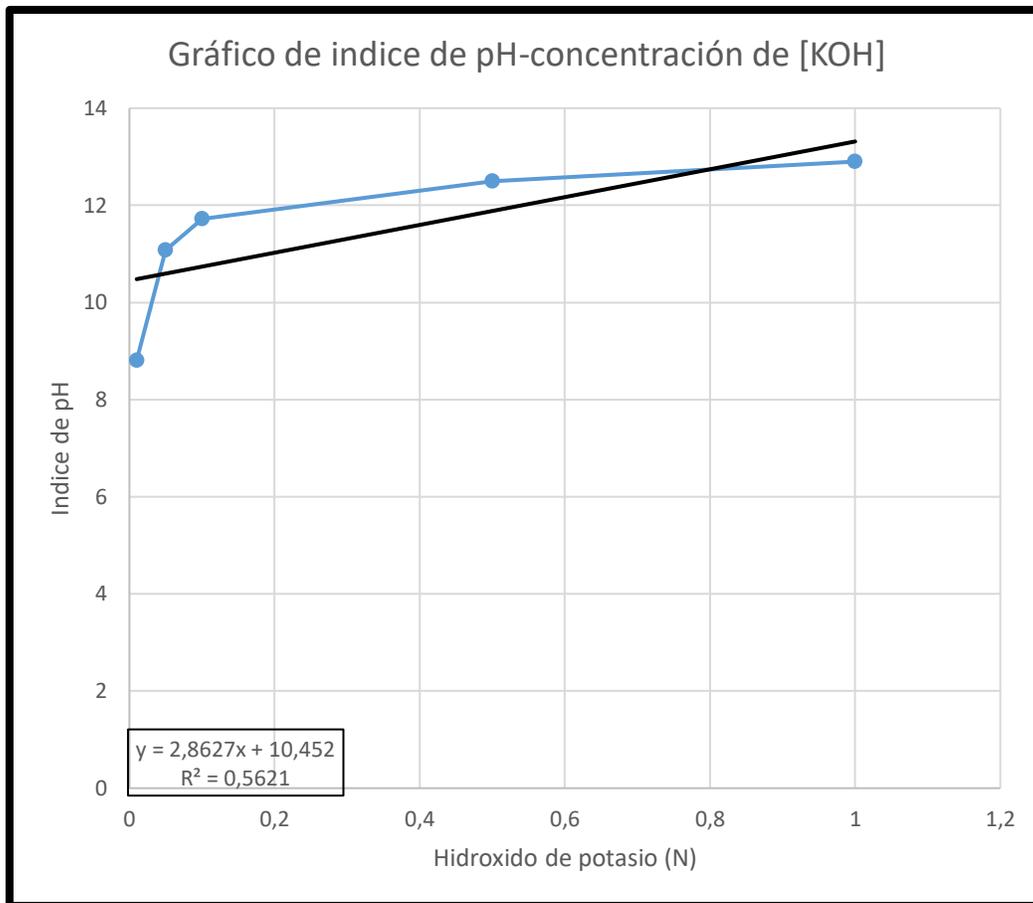


Figura 30

Figura 30: Gráfico en Excel de pH-[KOH]. Se presenta una relación en proporción directa dado que, a medida que una magnitud aumenta la otra aumenta.

Tabla 24

[KOH](N)	$V_o(V)$
1	4,57
0,5	4,4
0,1	4,22
0,05	4,11
0,01	3,61

Tabla 24: Concentración de hidróxido de potasio-Voltaje de salida  $v_o$ . Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 31.

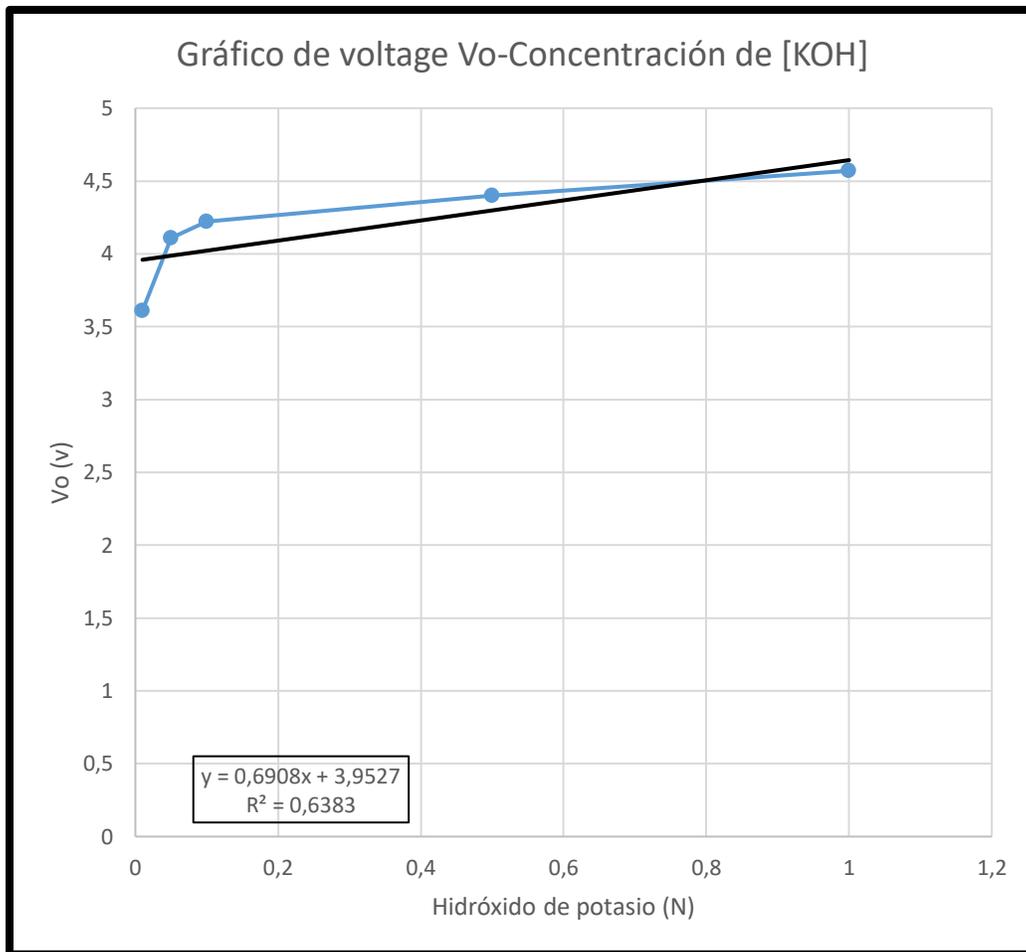


Figura 31

Figura 31: Gráfico en Excel de voltaje  $v_o$ -[KOH]. Es deducible la proporción de las dos (2) magnitudes presentando una pendiente lineal positiva.

Tabla 25

pH	$v_o(v)$
12,9	4,57
12,5	4,4
11,72	4,22
11,08	4,11
8,81	3,61

Tabla 25: índice de pH-Voltaje de salida  $v_o$ . Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 32.

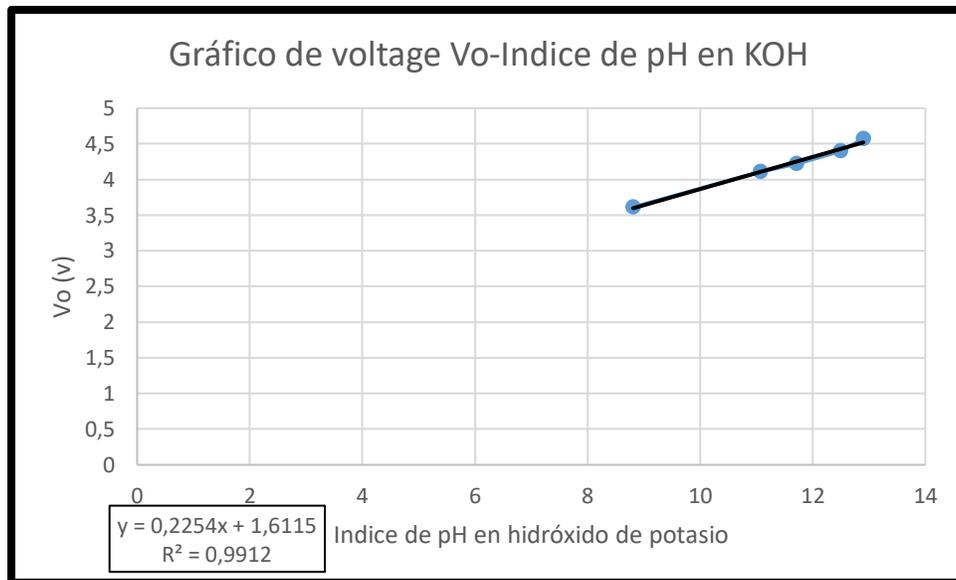


Figura 32

Figura 32: Gráfico en Excel de voltaje  $v_o$ -pH. Las dos (2) magnitudes son proporcionales. Con una disminución en la concentración, la sustancia empieza a ser cada vez más neutra disminuyendo su pH al mismo tiempo que baja el potencial que es la señal emitida por el electrodo.

### 3.6. Curvas características hechas con mediciones de sulfuros

Esta práctica fue realizada en el laboratorio de química de la universidad, utilizando como reactivo el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), dado que este es el elemento químico con contenido de sulfuros, (como ya se explicó en el capítulo de marco teórico del presente documento) predominante en las muestras de aguas residuales. La amplificación empleada es de  $A=11$ , es decir  $v_o=11v_i$ .

- Ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) empieza a ser medido desde una concentración inicial igual a uno molar (1M), siendo disuelto en agua destilada hasta un valor igual a cinco por diez a la menos tres molar ( $0,005M=5 \cdot 10^{-3}M$ ).

Tabla 26

<b>MEDICIONES HECHAS CON SULFUROS</b>				
<i>Ácido sulfhídrico</i>				
#	<u>[H<sub>2</sub>S]</u> (M)	<u>v<sub>i</sub></u> (v)	<u>v<sub>o</sub></u> (v)	<u>pH</u>
1	1	0,246	2,71	2,83
2	0,5	0,242	2,66	3,02
3	0,1	0,21	2,34	3,5
4	0,05	0,18	2,06	3,85
5	0,01	0,11	1,29	5,14
6	0,005	0,097	1,07	5,405

Tabla 26: Datos obtenidos de las mediciones hechas por el electrodo en las concentraciones de ácido sulfhídrico.

En donde:

[H<sub>2</sub>S] es la concentración de ácido sulfhídrico.

v<sub>i</sub> es el voltaje de entrada para la etapa del segundo amplificador.

v<sub>o</sub> es el voltaje de salida proporcionado por el segundo amplificador.

pH es el índice de pH medido en cada solución.

(Remitirse a la figura 26).

### 3.6.1. Mediciones de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) con amplificador hecho con el CI TL082

Tabla 27

<u>[H<sub>2</sub>S]</u> (M)	<u>pH</u>
1	2,83
0,5	3,02
0,1	3,5
0,05	3,85
0,01	5,14
0,005	5,405

Tabla 27: Concentración de [H<sub>2</sub>S]-índice de pH. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 33.

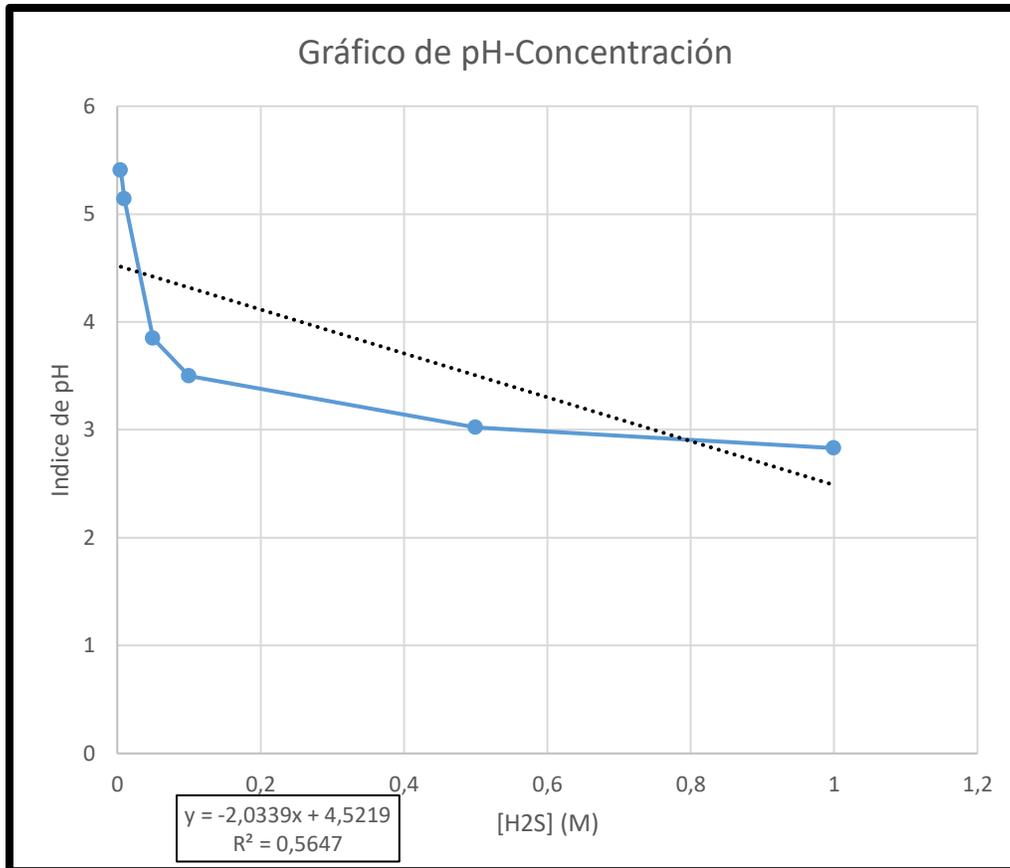


Figura 33

Figura 33: Gráfico en Excel de Índice de pH-[H<sub>2</sub>S]. Se presenta una inversa proporcionalidad porque, a medida que una magnitud aumenta la otra disminuye.

Tabla 28

[H <sub>2</sub> S](M)	V <sub>o</sub> (v)
1	2,71
0,5	2,66
0,1	2,34
0,05	2,06
0,01	1,29
0,005	1,07

Tabla 28: Concentración de ácido sulfhídrico-voltaje de salida V<sub>o</sub>. Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 34.

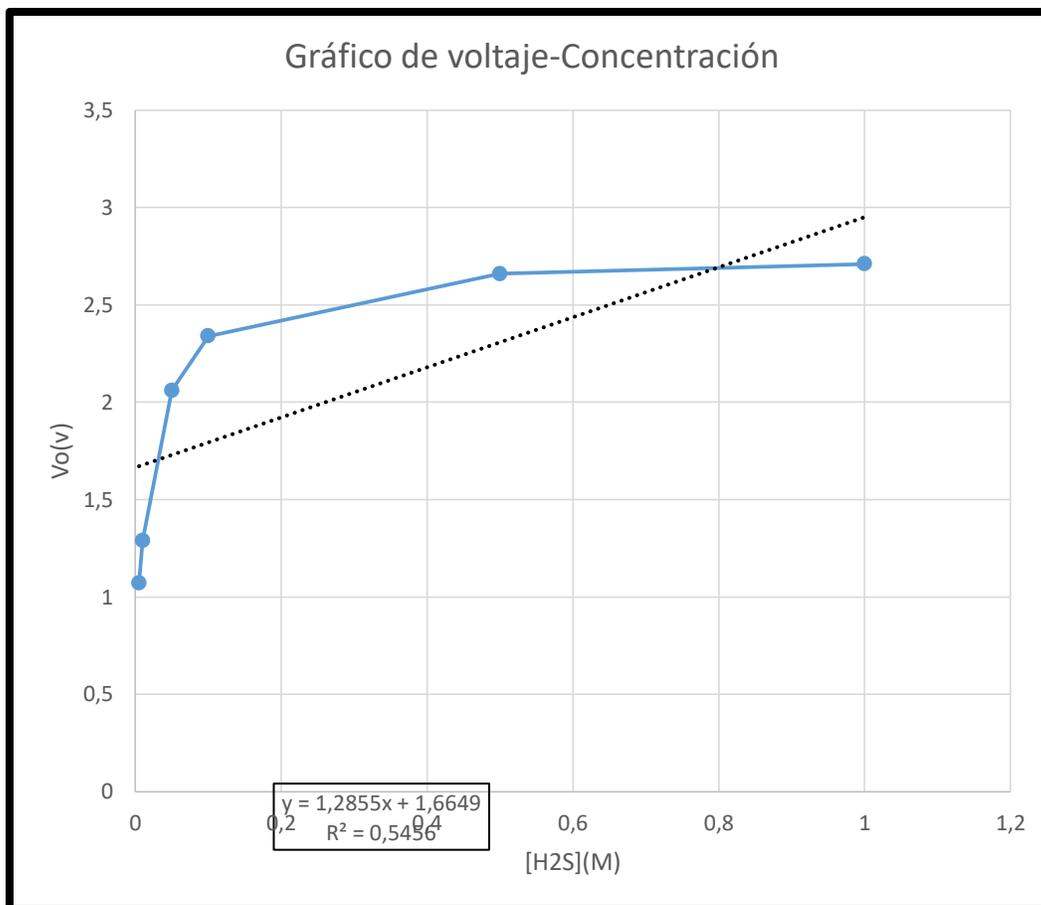


Figura 34

Figura 34: Gráfico en Excel de voltaje  $v_o$ -[H<sub>2</sub>S]. Es deducible la proporción de las dos (2) magnitudes presentando una pendiente lineal positiva entre la concentración y el voltaje.

Tabla 29

<u>pH</u>	<u><math>v_o</math>(v)</u>
2,83	2,71
3,02	2,66
3,5	2,34
3,85	2,06
5,14	1,29
5,405	1,07

Tabla 29: Índice de pH-Voltaje de salida  $v_o$ . Con los datos de esta tabla se realiza el gráfico de la figura 35.

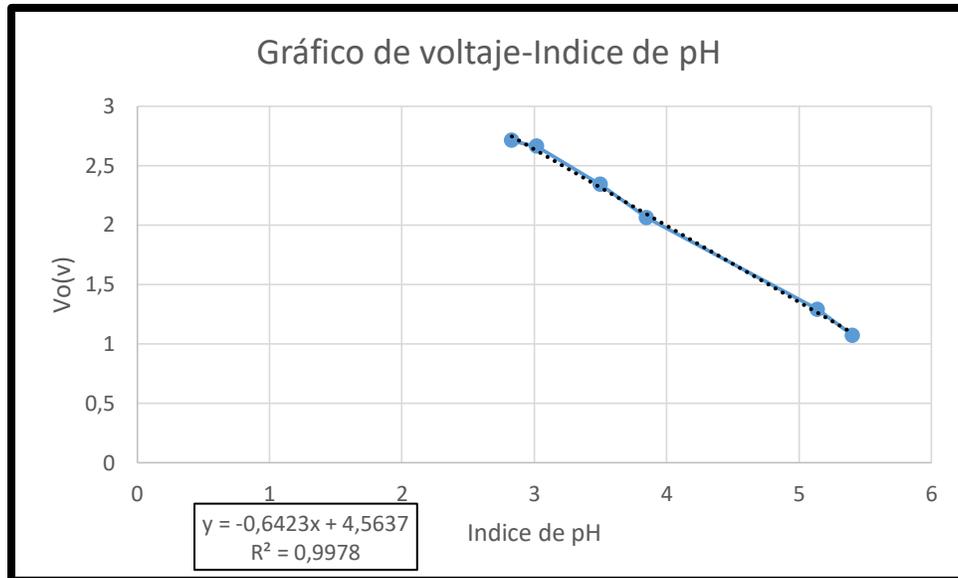


Figura 35

Figura 35: Gráfico en Excel de  $v_o$ -pH. Las dos (2) magnitudes son inversamente proporcionales. Con una disminución en el voltaje de salida, la sustancia empieza a ser cada vez más neutra aumentando su pH.

### 3.7. Análisis de datos

De acuerdo a los datos recogidos durante la etapa experimental expuesta previamente, es posible deducir los siguientes conocimientos con respecto al comportamiento de las sustancias analizadas:

Se presentan disminuciones de diferencia de potencial debido a la disminución en los niveles de concentración de las tres (3) sustancias analizadas. Lo cual sugiere que existe una proporcionalidad matemática entre estas dos (2) variables. Los ácidos clorhídrico y sulfhídrico, comienzan con niveles cercanos a cero en sus niveles de pH, pero a medida que se disuelven en agua este indicador sube hasta acercarse a siete (7), debido a que las sustancias se vuelven cada vez más neutras. Por otro lado, también las sustancias ácidas experimentan la disminución en sus niveles correspondientes de concentración y voltaje. Lo anterior permite afirmar que hay una proporcionalidad directa entre las variables concentración y voltaje, manifestándose igualmente una proporcionalidad inversa de estas dos (2) variables con el índice de pH.

La base hidróxido de potasio, comienza con un nivel cercano a catorce (14) en su índice de pH, pero a medida que se disuelve en agua este indicador baja hasta ubicarse en la lectura de siete (7), debido a que esta sustancia se vuelve cada vez más neutra. Al mismo tiempo esta sustancia experimenta una reducción en sus correspondientes niveles de concentración y voltaje. Las variables concentración,

índice de pH, y voltaje son matemáticamente proporcionales en esta sustancia alcalina (KOH).

La variable temperatura matemáticamente es proporcional al valor de la resistencia y del voltaje. Por extensión dentro del ácido sulfhídrico es directamente proporcional a las variables concentración y diferencia de potencial e inversamente proporcional a la variable índice de pH. Por otro lado, es necesario tener en cuenta que esta magnitud se comporta como una de las variables más independientes que existen en la naturaleza, por lo cual los diseñadores del proyecto le han asignado un rango de valores determinado por la temperatura ambiente (desde 0°C hasta 20°C), para el cual la operación del prototipo diseñado es la más adecuada y conveniente.

El agua residual tiene una escala de pH delimitada que va desde cero (0) hasta catorce (14). Igualmente, la escala de voltaje (sin amplificación) que proporciona la salida del electrodo se encuentra demarcada por los límites superior de 0,41v e inferior de -0,41v. También es propicio mencionar que a temperatura ambiente entre (0°C hasta 20°C) no se presenta ningún tipo de reacción química dentro del agua residual, en forma instantánea. Una muestra del líquido contiene diferentes compuestos químicos que solamente comienzan una reacción de aumento en, voltaje a partir de los 20°C.

La cantidad de sulfuros presentes en una muestra de agua residual pueden ser medidos en forma de concentración de acuerdo al comportamiento presentado en los gráficos precedentes que son: Índice de pH-Concentración [H<sub>2</sub>S], diferencia de potencial o voltaje-concentración, voltaje-índice de pH. Es posible afirmar lo anterior dado que los diferentes estudios científicos ubican a los sulfuros en la casi totalidad de las aguas residuales del planeta a mayor o menor concentración dependiendo de los procesos artificiales o naturales que generan estos compuestos. Se estudia el comportamiento del ácido sulfhídrico porque este sulfuro se disuelve fácilmente con la liquidez del agua, hecho por el cual no se puede filtrar ni como solido flotante, ni como partícula sedimentada en suspensión, dificultando así su remoción de las muestras tratadas por parte de los especialistas en el tema. El electrodo para pH se introduce en el recipiente de la muestra enviando su señal de voltaje a la etapa de acondicionamiento de señal, que a su vez remite la señal a la etapa procesadora y de control, función que es cumplida por la placa de Arduino 2560. Este procesador se encarga de realizar los cálculos y de enviar los resultados para su visualización al usuario obedeciendo al patrón de información (gráficas y tablas) que le ha sido cargado en un código para su programación.

(González, 2017).

### 3.7.1. Realización de la lectura por parte del transductor inteligente (T.I.)

Con relación a lo explicado en el numeral anterior, es presentado el siguiente gráfico:



Figura 36

Figura 36: Gráfico del comportamiento de las variables  $[H_2S]$ ,  $pH$ ,  $T$ ,  $v$ , que son captadas por el (T.I.) para emitir su lectura. (González, 2017).

El transductor inteligente toma como referencia el cruce de los puntos de las curvas que representan a las cuatro (4) variables del gráfico de la figura 36. Con una concentración de sulfuros  $[H_2S]$ , un índice de  $pH$  determinado, a una temperatura  $T$ , y a un nivel de voltaje  $v$ , se mostrará la siguiente lectura aproximada:

Tabla 30

Lectura aproximada			
$[H_2S](ppm)$	$[H_2S](M)$	$pH$	$T(^{\circ}C)$
34.100	1	0	17,5
$3,41 \cdot 10^{-3}$	$10^{-7}$	7	17
$3,41 \cdot 10^{-10}$	$10^{-14}$	14	16,5

Tabla 30: Aproximación de lecturas a mostrar por parte del prototipo (T.I.), tomando como referencia el gráfico de la figura 36. Se resalta la medición que hace el transductor, de la concentración de  $[H_2S]$  en las unidades partes por millón (ppm). (González, 2017).

La salvedad que debe hacerse a la tabla 30 consiste en que la concentración no es presentada por el transductor en unidades de molaridad (M) sino en partes por

millón (ppm). La conversión de unidades de molaridad (M) a partes por millón (ppm) se calcula de la siguiente manera:

La concentración molar se da en  $n/V$  (L).

Dónde:  $n$  es el número de moles.

$V$  es el volumen en litros.

La concentración en partes por millón se da en  $mg/L$ .

Es decir que se debe conseguir la equivalencia de unidades  $n/L \rightarrow mg/L$ .

Para esto se procede a convertir el número de moles a gramos haciendo la operación:  $n_{mol} * PM_{g/1mol}$  de donde se obtiene  $PM$  que es el peso molecular en gramos con la consecuente equivalencia  $g/L$  en donde para obtener  $mg/L$  es necesario multiplicar la cantidad obtenida por  $1.000mg/1g$  con lo cual finalmente se logra cuantificar la concentración de la sustancia en ppm.

(Milla González, 2013).

En la figura 36, y en la tabla 30 se destaca el hecho de que la temperatura ambiente se convierte prácticamente en una constante. La concentración del ácido sulfhídrico [ $H_2S$ ] está comprendida idealmente entre los límites superior e inferior del nivel del pH ácido.

(González, 2017).

### 3.7.2. Circuito

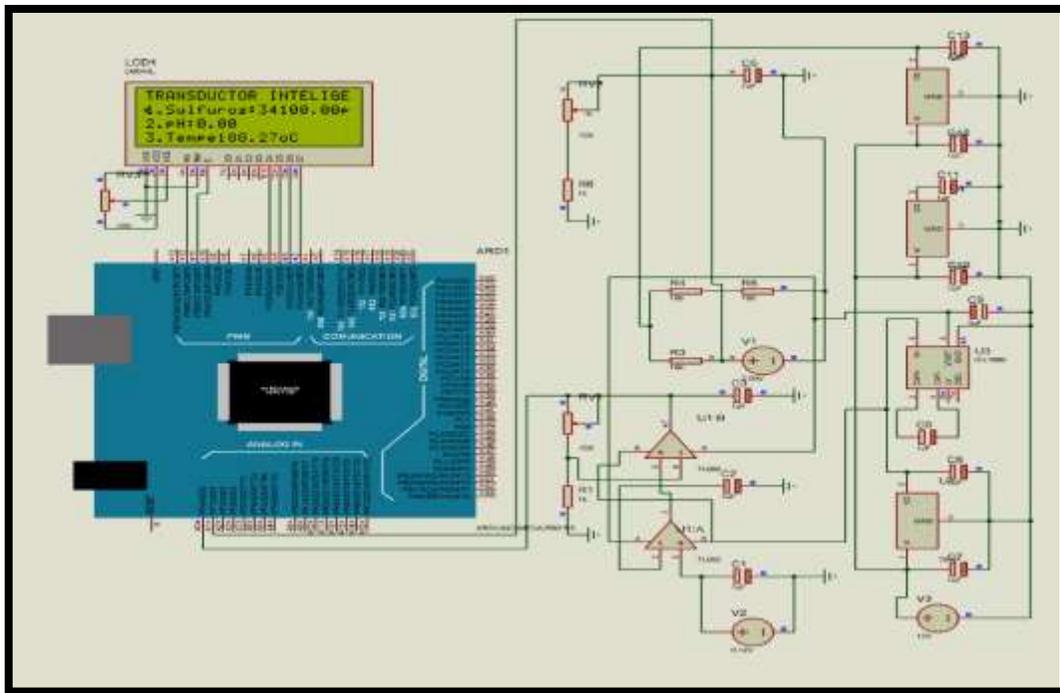


Figura 37

Figura 37: Esquema del circuito utilizado para cumplir con las especificaciones del proyecto. Proteus 8.

Como se observa en el circuito de la figura 37, a la tarjeta electrónica del proyecto realizado le fue agregada una sección de suministro de energía hecha con reguladores de voltaje de circuito integrado. Del mismo modo se utilizó el circuito integrado ICL7660 para obtener un nivel de voltaje negativo de diez voltios (-10v). Las referencias de reguladores que hicieron parte del circuito fueron: 7810 suministrando 10v a los circuitos de acondicionamiento de señal, 7809 suministrando 9v a la placa Arduino mega 2560, 7806 suministrando 6v al puente de Wheatstone, al igual que el voltaje negativo (-10v) del ICL7660 energizando a los acondicionadores de señal.

(González, 2017).

### 3.7.3. Montaje

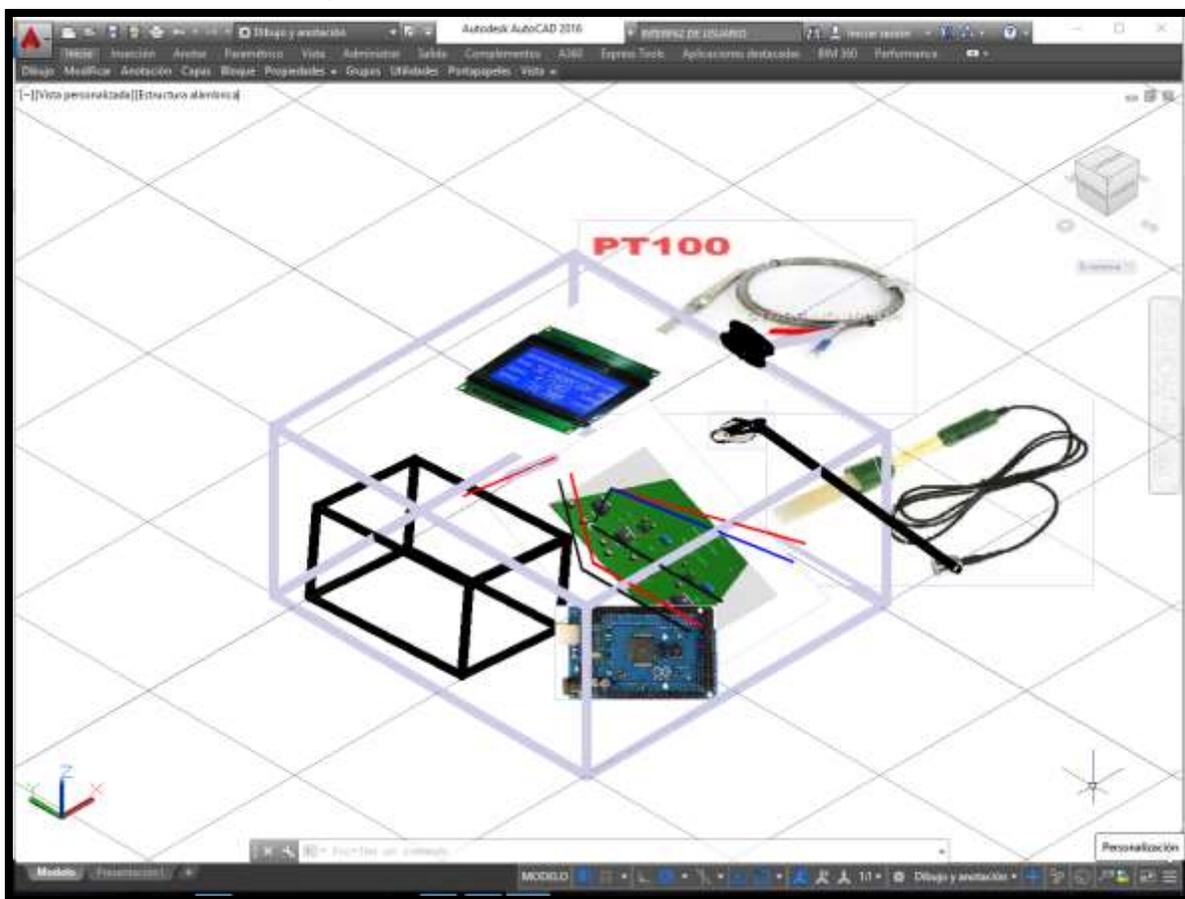


Figura 38

Figura 38: Montaje utilizado para armar el prototipo como producto final. Se distinguen los siguientes componentes: Arriba de la caja está la pantalla LCD. Debajo de este nivel se observa a la derecha fuera de la caja el electrodo de color amarillo y verde. En el centro dentro de la caja están la tarjeta acondicionadora de señal. Con aristas de color negro en el extremo izquierdo dentro de la caja está la batería CD de 12V de la cual se energiza la totalidad del transductor inteligente. En el extremo inferior dentro de la caja se encuentra la placa Arduino mega 2560. En la parte superior derecha de color gris fuera de la caja se observa el sensor de temperatura PT100. AutoCAD 2.016.



Figura 39

Figura 39: Resultado del ensamblaje final del prototipo como producto final del proyecto. (González, 2017).

### 3.7.4. Código

El código que se desarrolló para la realización del proyecto, y que fue cargado a la memoria de la tarjeta Arduino mega 2560 es el siguiente:

```

////////////////////////////////////// TESIS FINAL DE GRADO DEL PROGRAMA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA ////////////////////////////////////////
#include <LiquidCrystal.h> // Incluye el código de la biblioteca:
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // Inicializa la biblioteca con los números de los
pines de la interfaz
float H2S; // Controlador
float pH; // Arduino
float TEM; // Mega
float TEM1;

```

```

float V0; // 2560
float V1=0; // Para transductor inteligente
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(20,4); // Configura el número de columnas y filas de la LCD:
  lcd.print("Electrodo HI1230"); // Entrada a la hoja de datos electrónica
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.write("Fabricante Hanna"); // Datos del electrodo para medición de pH
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.write("S/N 0227134N");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.write("Rango: 0 a 12 pH"); // Rango de medición
  delay(3000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.write("CoepH 59mV/pH"); // Coeficiente de unidades de pH
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.write("Sensor PT100RTD"); // Datos del sensor de temperatura
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.write("Rango:-50 a 400C"); // Rango de medición
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.write("CoeTEM 4mV/C"); // Coeficiente de unidades de temperatura
  delay(3000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.write("Arduino Mega2560"); // Procesador capacitado para aplicación de red
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.write("R3"); // Mega 2560 R3
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.write("ATmega2560Av1642"); // Microprocesador interno
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.write("Sencibilidad 1024"); // Resolución de bits
  delay(3000);
  lcd.clear();
}
void loop() {
  lcd.setCursor(0,0); // Título del proyecto mostrado en la pantalla LCD
  lcd.print("TRANSDUCTOR");
  V0=analogRead(A0)*(5.0/1023.0); // Toma de datos del transductor
  V1=analogRead(A1);
  pH=6.3227-14.589*V0; // Autocalibración y autodiagnóstico
  H2S=pow(10,-pH);
  H2S=34100*H2S; // Conversion a partes por millon ppm
  TEM=V1*(5.0/1023.0);
  TEM1=243.02*TEM-488.43;
  lcd.setCursor(0,1); // Impresión de los datos en la pantalla LCD
  lcd.print("1.Sulfuros:");

```

```

lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(H2S);
lcd.print("ppm");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("2.pH:");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(pH);
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("3.Tempe: ");
lcd.setCursor(8,3);
lcd.print(TEM1);
lcd.setCursor(14,3);
lcd.print("oC");
Serial.println("TRANSDUCTOR INTELIGENTE PARA MEDIR SULFUROS EN UNA
MUESTRA DE AGUA"); // Comunicación del transductor inteligente
Serial.print("1.Concentracion de sulfuros:");
Serial.print(H2S);
Serial.println("ppm");
Serial.print("2.Indice de pH:");
Serial.println(pH);
Serial.print("3.Temperatura:");
Serial.print(TEM);
Serial.println("oC");
delay(1000);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("INTELIGENTE");
delay(1000);
}

```

### 3.8. Etapa de validación

Para esta etapa se procede a hacer una comparación de tipo verificación entre los resultados arrojados por el transductor inteligente y los datos proporcionados por elementos de medición del laboratorio los cuales miden las magnitudes de pH y temperatura. Con los datos de pH obtenidos el transductor inteligente debe estar en la capacidad de visualizar en la pantalla LCD 20x04 la cantidad de concentración de sulfuros presentes hallados en una muestra de agua residual. El procedimiento básico consiste en sumergir el electrodo de pH en el agua de muestra contenida en un recipiente como se ha venido explicando anteriormente, con el objetivo de que esta acción muestre en la pantalla de manera digital el resultado de tres magnitudes que son: La concentración de sulfuros, el índice de pH, y la temperatura en grados Celsius (°C). Para hacer la respectiva verificación, se procede a comprobar cada medición. Es así como se utiliza un pHmetro digital para comprobar la medición del índice de pH; y se usa un termómetro o una termocupla para comprobar la medición de la temperatura. Los resultados de los datos obtenidos por el transductor

inteligente deben coincidir con un rango en error relativo máximo del 30%, con los datos obtenidos por el pHmetro, y el instrumento de medición de temperatura. De la misma manera los datos deben ser presentados por el monitor serial del programa Arduino en un computador para validar el buen funcionamiento de la interfaz de comunicación del transductor inteligente. El valor de 30% en error relativo de desviación se fijó por parte de los diseñadores del proyecto con base en la estadística aportada por las diferentes mediciones hechas durante las prácticas de laboratorio originadas por el proyecto. El concepto de error relativo se define en la sección 3.9 de resultados y conclusiones.

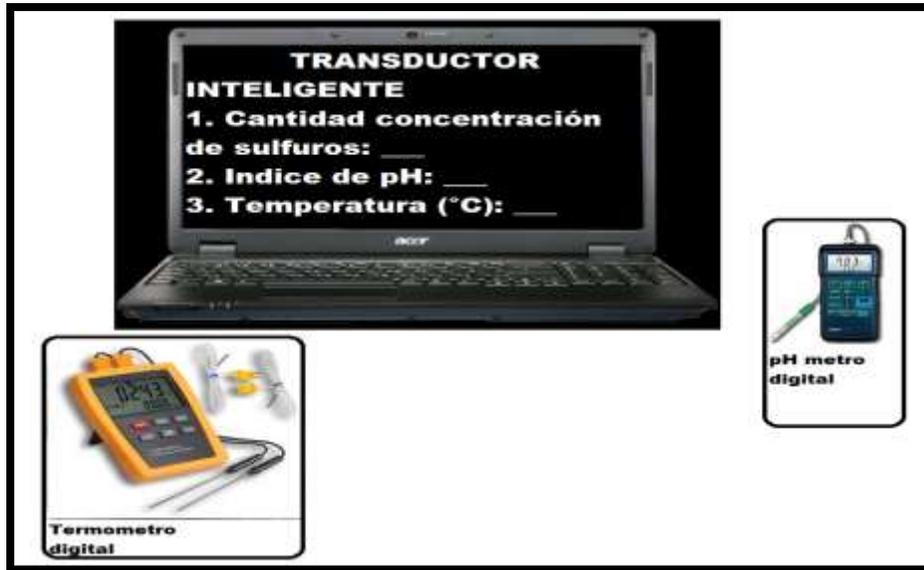


Figura 40

Figura 40: Equipo para realizar la validación del transductor inteligente. Fuente: [www.bing.com](http://www.bing.com).

### 3.9. Resultados y conclusiones

En este apartado es pertinente mencionar que los diseñadores del proyecto, realizaron modificaciones en la arquitectura conexas del prototipo, con el fin de mejorar su funcionamiento por tal razón se sustituyeron las tarjetas de las figuras 13 y 26 por el circuito mostrado en la figura 37. Por otro lado, en lo referente a la interfaz de comunicación del prototipo transductor inteligente (T.I.) sin pasar por alto la norma IEEE 1451, se cumplieron las demandas sugeridas por esta norma. Para describirlo se mencionan las facultades alcanzadas durante la implementación del prototipo:

- Cumple con la incorporación de una interfaz de comunicación, haciendo presentación y transmisión de datos a través del puerto USB perteneciente a un computador. Los puertos USB de un computador permiten establecer contacto entre dos (2) o más prototipos de T.I., para conseguir un intercambio

de información efectivo entre cada uno de ellos. Fundamentalmente lo que se puede hacer con este tipo de conexión de nodo es un cotejo de algoritmo o código de programación, en donde se encuentran algunos de los datos que exige la norma para las hojas de datos electrónicas del transductor (TEDS).

- El prototipo del T.I. resultante del diseño se limita a proporcionar los puertos para conectarse a la red, cumpliendo con lo estipulado en la norma. No fue diseñado para hacer una conexión serial de red, debido a que se previó antes que todo como un instrumento de medición, concretamente para este proyecto. La implementación física de una red de estos módulos de transductores inteligentes pertenece a otro proyecto de investigación distinto a este.

Con el circuito, y el montaje mostrado en las figuras 37, 38, y 39 junto con el código presentado a partir de la página 75, se procedió a realizar la última práctica de este proyecto de investigación. Lo anterior consistió en la recreación de muestras de agua residual en el laboratorio de la universidad. Dichas muestras fueron obtenidas a partir de la mezcla de agua con el reactivo líquido ácido sulfhídrico, estableciendo tres (3) cantidades diferentes del mismo. La cantidad de agua para todos los casos fue de 0,5L. Se efectuó todo el proceso verificado por tres dispositivos electrónicos los cuales fueron: El prototipo del transductor inteligente como producto final del presente proyecto, una termocupla para medición de temperatura, y un pHmetro o potenciómetro digital.

(González, 2017).

En este punto es preciso recordar que una muestra de agua residual similar a la de la muestra recreada en la universidad para esta etapa del proyecto, es lograda en una planta de tratamiento de aguas residuales en una fase terciaria de depuración, después de dos (2) etapas previas donde se obtiene principalmente una disolución de sulfuros en agua.

(Banco mundial, s. f.; Feachem, 1983).

Las mezclas obtenidas para este último experimento de menor a mayor se relacionan a continuación:

- 1ml de ácido sulfhídrico [H<sub>2</sub>S] disuelto en 0,5L de agua.
- 10ml de ácido sulfhídrico [H<sub>2</sub>S] disuelto en 0,5L de agua.
- 20ml de ácido sulfhídrico [H<sub>2</sub>S] disuelto en 0,5L de agua.

### **3.9.1. Errores absoluto y relativo en las mediciones de la práctica definitiva**

El error absoluto: Es la diferencia entre el valor real de las mediciones y el valor de la medida correspondiente.

$$E.A. = |v_R - v_M|$$

En donde se toma como el valor real ( $v_R$ ) a un promedio total de mediciones incluyendo un (1) valor calculado o teórico dentro de estas. Al estar el resultado de la diferencia entre barras, las que representan el valor absoluto de una cantidad, se toma siempre como positivo este valor.

El error relativo: Es el cociente de la división del error absoluto (E.A.) entre el valor real de las mediciones que multiplicado por 100 produce la cantidad porcentual estimada de desviación en la medición.

$$E.R. = (E.A. / v_R) * 100 \%$$

(Ayçaguer, 2000).

### 3.9.2. Tabla obtenida para la presentación de los resultados

Con las concentraciones o mezclas indicadas anteriormente se presenta la siguiente tabla de resultados en donde, se agrega el promedio hecho con datos obtenidos en secciones anteriores del presente documento, incluyendo el cálculo teórico por fórmula en las magnitudes medidas sulfuros o  $[H_2S]$ , pH, y temperatura, con el fin de obtener el valor real. En la tabla 31 dispuestas en orden ascendente, las magnitudes que no presentan la notación "PROTOTIPO" son las que se tomaron como el valor real ( $v_R$ ) en cada lectura de medición:

Tabla 31

<b>[H<sub>2</sub>S] MEDIDO PROTOTIPO (ppm)</b>	<b>CALCULADO [H<sub>2</sub>S] = 10<sup>-pH</sup> (M)</b>	<b>SULFUROS CALCULADOS *34.100 EN (ppm)</b>	<b>ERROR ABSOLUTO EN SULFUROS (ppm)</b>	<b>ERROR RELATIVO EN SULFUROS (%)</b>
21,51	5,01*10 <sup>-4</sup>	17,08	4,43	25,93
183,12	5,37*10 <sup>-3</sup>	183,11	0,01	5,46*10 <sup>-3</sup>
373,89	0,01	341	32,89	9,64
<b>pH PROTOTIPO</b>	<b>pH</b>	<b>E.A. pH</b>	<b>E.R. pH (%)</b>	
3,20	3,30	0,1	3,03	
2,65	2,27	0,38	16,74	
2,33	1,98	0,35	17,67	
<b>TEMPERATURA PROTOTIPO (°C)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>E.A. TEMPERATURA (°C)</b>	<b>E.R. TEMPERATURA (%)</b>	
12,81	13	0,19	1,46	
14	17,33	3,33	19,21	
11,63	12,26	0,63	5,13	

Tabla 31: Mediciones hechas con el prototipo del transductor inteligente validadas contra las lecturas hechas por instrumentos de medición del laboratorio.

Las lecturas hechas por los instrumentos pHmetro digital, y termocupla fueron promediadas junto con las demás mediciones para obtener el valor real ( $v_R$ ) en las

magnitudes de pH y temperatura. En cada uno de los tres casos diferentes, estos instrumentos presentaron desviaciones tolerables dentro de dichos rangos de medición, corroborando de esta forma la efectividad en las mediciones hechas por el prototipo del transductor inteligente (T.I.).

(González, 2017).

### **3.9.3. Conclusiones del proyecto de investigación**

- Un índice de pH ácido (de 0 a 6) favorece la proliferación de los sulfuros en el agua, entretanto, un pH comprendido en ambiente básico o alcalino (de 8 a 14) inhibe la cantidad de estos contaminantes.
- Los grados de temperatura influyen determinantemente dentro de las aguas residuales, o no residuales que contengan contaminación por sulfuros, porque ante una temperatura ambiente (de 10°C a 20°C) la concentración de esta sustancia se mantiene en nivel estable, pero si la temperatura progresivamente empieza a aumentar (de 20°C a 100°C) aumentará el nivel de concentración de sulfuros debido a que el pH del agua se torna cada vez más ácido, y al fenómeno, de evaporación que se experimenta permitiendo que haya más y mejor dilución de los solutos entre el solvente líquido.
- Los diferentes experimentos realizados durante todo el desarrollo del presente proyecto de investigación, permitieron modelar matemáticamente el comportamiento de las magnitudes medidas, con el fin de lograr convertir al transductor eléctrico inicial en un transductor inteligente, incorporando para esto a un procesador, o elemento de control central, función que desempeñó la placa Arduino mega 2560, siendo su microcontrolador programado por un algoritmo, que finalmente convirtió al prototipo en un sistema de adquisición digital de datos.
- Mediante los dispositivos que permite crear la instrumentación electrónica digital, se pueden organizar acciones que favorezcan a los diferentes programas con iniciativas medioambientales propiciados por la sociedad colombiana actual.

#### **3.9.4. Sugerencias consecuentes del proyecto de investigación**

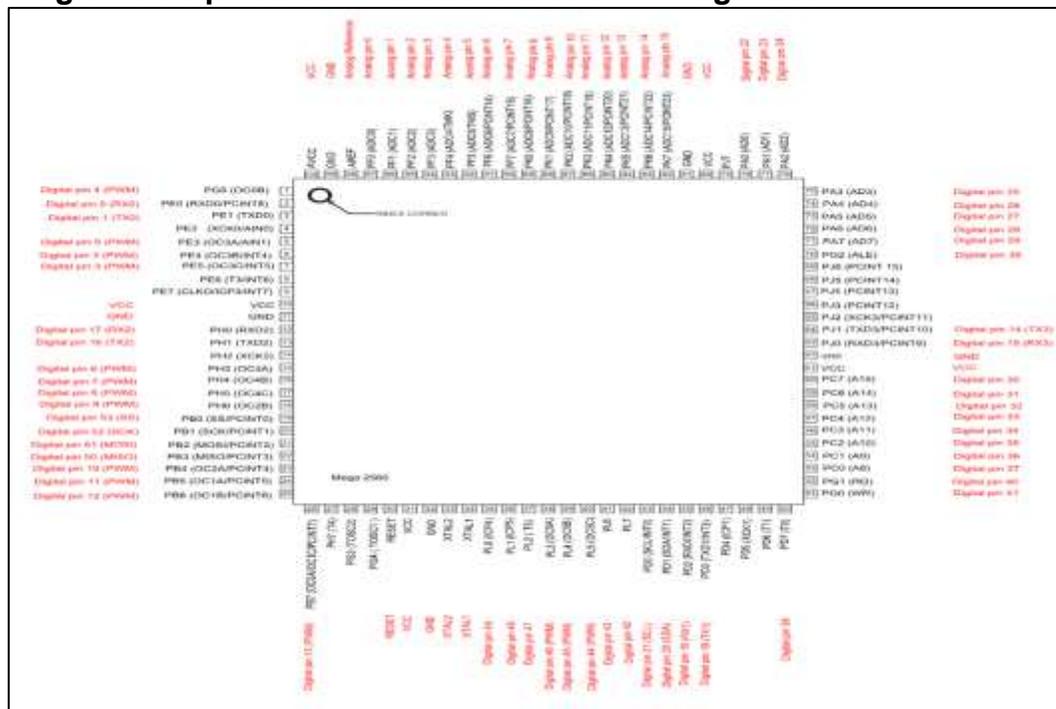
- Es conveniente la preservación del recurso hídrico en el país, por lo tanto, el presente proyecto estuvo motivado por crear conciencia colectiva sobre este hecho. Debe ser realidad la preservación o al menos el reciclaje y reutilización del agua para el consumo humano.
- Las autoridades ambientales de la zona de estudio en el proyecto deben recurrir a cuanto medio científico, técnico, y tecnológico, este a su alcance para monitorear la calidad del agua destinada a suplir las necesidades de la gente, y en este mismo orden de ideas, deben considerar el aporte que hace la electrónica digital en busca de solucionar los inconvenientes generados por este tema.

## Anexos

### Especificaciones técnicas de la tarjeta Arduino mega 2560

Microcontrolador	<u>ATmega2560</u>
Tensión de funcionamiento	5V
Tensión de entrada (recomendado)	7-12V
Tensión de entrada (límite)	6-20V
Digital I / O Pins	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Analog Input Pins	dieciséis
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente de CC para el Pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	101,52 mm
Anchura	53,3 mm
Peso	37 g

### Diagrama de pines del microcontrolador ATmega2560



Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>.

## Principales instrucciones para programar el microcontrolador ATmega2560

<p><b>Sintaxis básica</b></p>	<p>Delimitadores:;, {}          Comentarios: //, /* */          Cabeceras: #define, #include          Operadores aritméticos: +, -, *, /, %          Asignación: =          Operadores de comparación: ==!, =, &lt;, &gt;, &lt;=, &gt;=          Operadores Booleanos: &amp;&amp;,   , !          Operadores de acceso a punteros: *, &amp;          Operadores de bits: &amp;,  , ^, ~, &lt;&lt;, &gt;&gt;          Operadores compuestos: Incremento y decremento de variables: ++, --          Asignación y operación: +=, -=, *=, /=, &amp;=,  =</p>
<p><b>Estructuras de control</b></p>	<p>Condicionales: if, if...else, switch case          Bucles: for, while, do. while          Bifurcaciones y saltos: break, continue, return, goto</p>
<p><b>Variables</b></p>	<p>En cuanto al tratamiento de las variables también comparte un gran parecido con el lenguaje C</p>
<p><b>Constantes</b></p>	<p>HIGH/LOW: representan los niveles alto y bajo de las señales de entrada y salida. Los niveles altos son aquellos de 3 voltios o más.          INPUT/OUTPUT: entrada o salida.          false (falso): Señal que representa al cero lógico. A diferencia de las señales HIGH/LOW, su nombre se escribe en letra minúscula.          true (verdadero): Señal cuya definición es más amplia que la de false. Cualquier número entero diferente de cero es "verdadero", según el álgebra de Boole, como en el caso de -200, -1 o 1. Si es cero, es "falso".</p>
<p><b>Tipos de datos</b></p>	<p>void, boolean, char, unsigned char, byte, int, unsigned int, word, long, unsigned long, float, double, string, array.</p>

<b>Conversion entre tipos</b>	Estas funciones reciben como argumento una variable de cualquier tipo y devuelven una variable convertida en el tipo deseado. char(), byte(), int(), word(), long(), float()
<b>Cuantificadores y ámbito de las variables</b>	static, volatile, const.
<b>Utilidades</b>	sizeof()
<b>E/S digital</b>	pinMode(pin, modo). digitalWrite(pin, valor). int digitalRead(pin).
<b>E/S analógica</b>	analogReference(tipo) int analogRead(pin) analogWrite(pin, valor)
<b>E/S avanzada</b>	shiftOut(dataPin, clockPin, bitOrder, valor) unsigned long pulseIn(pin, valor)
<b>Tiempo</b>	unsigned long millis() unsigned long micros() delay(ms) delayMicroseconds(microsegundos)
<b>Matemáticas</b>	min(x, y), max(x, y), abs(x), constrain(x, a, b), map(valor, fromLow, fromHigh, toLow, toHigh), pow(base, exponente), sqrt(x)
<b>Trigonometría</b>	sin(rad), cos(rad), tan(rad)
<b>Números aleatorios</b>	randomSeed(semilla), long random(máx), long random(mín, máx)
<b>Bits y bytes</b>	lowByte(), highByte(), bitRead(), bitWrite(), bitSet(), bitClear(), bit()
<b>Interrupciones externas</b>	attachInterrupt(interruptión, función, modo) detachInterrupt(interruptión)
<b>Interrupciones</b>	interrupts(), noInterrupts()
<b>Comunicación por Puerto serie</b>	Las funciones de manejo del puerto serie deben ir precedidas de la palabra "Serial" aunque no necesitan ninguna declaración en la cabecera del programa. Por esto se consideran funciones base del lenguaje. Estas son las funciones para transmisión serial: begin(), available(), read(), flush(), print(), println(), write()
<b>Manipulación de puertos</b>	DDR[B/C/D]: Data Direction Register (o dirección del registro de datos) del

	<p>puerto B, C o D. Es una variable de Lectura/Escritura que sirve para especificar cuáles contactos serán usados como entrada y salida.</p> <p>PORT [B/C/D]: Data Register (o registro de datos) del puerto B, C o D. Es una variable de Lectura/Escritura.</p> <p>PIN[B/C/D]: Input Pins Register (o registro de pines de entrada) del puerto B, C o D. Variable de sólo lectura.</p>
<b>AVR Libc</b>	<p>avr-binutils</p> <p>avr-gcc</p> <p>avr-libc</p>
<b>Interrupciones</b>	<p>cli (): desactiva las interrupciones globales</p> <p>sei(): activa las interrupciones</p>

Anexo 2

(Banzi, 2009; Hedrich Martinez de Carvajal, 2015; Noble, 2009; Oxeer, Jonathan, Blemings, 2010).

### Características del convertidor analógico a digital del Atmega2560

#### Características

- Resolución de 10 bits
  - 1 LSB Integral No linealidad
  - $\pm 2$  LSB Precisión absoluta
  - 13 $\mu$ s - 260 $\mu$ s Tiempo de Conversión
  - Hasta 76.9kSPS (Hasta 15kSPS a la resolución máxima)
  - 16 canales de entrada de un solo extremo multiplexados
  - 14 canales de entrada diferencial
  - 4 canales de entrada diferencial con ganancia opcional de 10  $\times$  y 200  $\times$
  - Ajuste izquierdo opcional para la lectura de resultados ADC
  - 0V - VCC Rango de tensión de entrada ADC
  - 2.7V - VCC Diferencial Gama de Tensión ADC
  - Voltaje de referencia ADC seleccionable de 2.56V o 1.1V
  - Modo de ejecución libre o de conversión sencilla
- Interrupción en la conversión ADC completa
- Cancelador de ruido del modo de suspensión.

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>.

**Tabla de resistencia y temperatura del sensor PT100**

T e m p e r a t u r a  (°C)  d e c e n s a s	0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	Resistencia en (Ω)
	10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41	
	20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29	
	30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16	
	40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	
	50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86	
	60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	
	70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51	
	80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32	
	90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12	
	100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91	
	110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69	
	120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45	
	130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20	
	140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95	
	150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68	
	160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39	
	170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10	
	180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79	
	190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47	
	200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14	
	210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81	
	220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45	
	230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09	
	240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72	
	250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33	
	260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94	
	270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53	
	280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11	
	290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67	
	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>Temperatura en unidades</b>												

Anexo 3

Fuente: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>.

### Algunas especificaciones del electrodo HI 1230B

Electrodo	Parámetro	SN	Recomendado para
HI 1230B	pH	0227134N	HI 8424

mv(@25°C):	Offset (7,01 pH)[mv]:	0,0
	Tolerancia [mv]:	±10
	Lectura [mv]:	4,9 PASADA
	Pendiente (4,01pH)[mv]:	177,5
	Tolerancia [mv]:	170,4-177,5 PASADA
	Lectura [mv]:	173,1 PASADA
mv tiempo de respuesta (4,01 pH-7,01 pH)	Tiempo Estándar [s] :	<1 PASADA
	Tolerancia [s]:	+1
Impedancia del vidrio (@25°C):	Tolerancia [MΩ]:	50-150 PASADA
Impedancia de referencia (25°C)	Valor máximo [kΩ]:	10 PASADA

*Anexo 4*

(Hanna, 2015).

## Referencias bibliográficas

- Almario, Amin, M. (2014). Sistema portátil de sensores inteligentes (lengua electrónica) para el análisis de alimentos. *Revista investigaciones aplicadas*, 8(1), 30-36.
- Ambardar, A. (2002). *Procesamiento de señales analógicas y digitales. Procesamiento de señales analógicas y digitales, 2da.*
- Ayçaguer, L. C. S. (2000). *Sistema General de Simulación de Diseños y Aplicaciones Muestrales: Diseño razonado de muestras y captación de datos para la investigación sanitaria.* (E. D. de Santos, Ed.).
- Banco mundial. (s. f.). *Libro de consulta para evaluación ambiental* (volumen I.).
- Banzi, M. (2009). *Getting Started with Arduino.* (M. Books., Ed.) (1°).
- Bier, A. (1987). *Electroquímica.*
- Billo, E. J. (2011). *Excel Formulas and Functions. Excel for Chemists®.* <https://doi.org/10.1002/9781118093955.ch3>
- Bosch, J., & Carmona, M. (2012). Instrumentación Electrónica Avanzada. *Departamento de Electrónica,* (Universidad de Barcelona, Barcelona.).
- Boylestad, R. (1991). i N. (1991). L. Electrónica. Teoría de circuitos.
- Brady, J. E., & Humiston, G. (s. f.). Química básica. Limusa.
- Cárdenas Sanchez, T. A., Chavez Burbano, P. X., & Carpio Miranda, M. E. (s. f.). Desarrollo e Implementación de un Sistema de Seguridad y Confort para Hogares Monitoreado y Administrado a través de una Aplicación web.
- CHang, R. (2007). *Química.* (McGrawhill, Ed.) (9°).
- Ciganda, L. M., Quim, I., & Bussi, J. (2004). Electroodos para medir pH (Junio 2004). *Electroodos para edir pH,* (Junio), 1-5.
- Elias, A., de los Reyes, E., & Casadevall, L. (1987). Simulación de Procesadores CFAR. En *Reunión de la Comisión B (campos y ondas)* (pp. 457-462). Recuperado a partir de [http://ursi.usc.es/wp-content/uploads/articulos\\_antiguos\\_escaneados/Valencia\\_87/s\\_K.pdf](http://ursi.usc.es/wp-content/uploads/articulos_antiguos_escaneados/Valencia_87/s_K.pdf)
- Feachem, R. G. y otros. (1983). *Sanitation and Disease: Health Effects of Excreta and Wastewater Management.* (J. W. and Sons, Ed.). Chishester, Reino Unido.
- García-Beltrán, A., Martínez, R., & Jaén, J. A. (2004). Fundamentos de programación. *Atención Primaria,* 34(8), 396-396. <https://doi.org/10.1157/13068212>
- González, M. (2017). *Tesis Final De Grado 2.017.* UNAD. Recuperado a partir de [WWW.UNAD.EDU.CO](http://WWW.UNAD.EDU.CO)
- Hanna. (2015). Electrodo HI1230B.
- Harris, D. C. (2007). Electroodos y potenciometría. En *Análisis químico cuantitativo* (p. 319).
- Hedrich Martinez de Carvajal, E. (2015). *100 proyectos de robótica con bibloq y Arduino* (2°).
- Jimenez Montero, F. J. (2007). Sensores y Actuadores. *Publicacion En Internet,* 1-20. Recuperado a partir de <http://es.slideshare.net/kaluisitoblog/sensores-yactuadoresseat>
- Lucerna, P. (2004). Transductores de presión y de flujo. *XIII Seminario de Ing. Biomédica 2004,* 1-7.

- Marcos Ruiz, S., Asensio, J. S., Pinillos, S. C., & Bernal, J. G. (s. f.). Determinación de sulfuros en aguas mineromedicinales de la Rioja. *Zubia*, (10), 161-168.
- Milla González, M. (2013). *Expresión de conversión de ppm a molaridad y viceversa. A modo de puzzle*. (Química Analítica, Ed.).
- Minguez, J. (2012). Tecnología de Interfaz Cerebro - Computador. *Departamento de Informatica e Ingeniería de Sistemas Universidad de Zaragoza*, 1-12.
- Noble, J. (2009). *Programming Interactivity A Designer's Guide to Processing, Arduino, and openFrameworks*. (O'Reilly Media, Ed.) (1°).
- Oxer, Jonathan, Blemings, H. (2010). *Practical Arduino Cool Projects for Open Source Hardware* (1°).
- Pallás, R. (s. f.). Sensores y acondicionadores de señal. *Marcombo*.
- Pérez, M. a, Álvarez, J. C., Campo, J. C., Ferrero, F. J., & Grillo, G. (2004). Instrumentación electrónica. *Instrumentación electronica*, 387-430.
- Petrucci, R. H., Harwood, W. S., Herring, F. G., & Pumarino, C. P. G. (s. f.). *Química general*. (F. E. Interamericano., Ed.).
- Romero Rojas, J. A. (2004). (s. f.). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Bogotá, CO,,: Escuela Colombiana de Ingenieros.
- Sampieri, R., Collado, C., Lucio, P., & Pérez, M. (2003). *Metodología de la investigación. Metodologia de la Investigacion*. Recuperado a partir de [http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021552/021552\\_Cap3.pdf](http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/021552/021552_Cap3.pdf)
- Sandoval Fiori, E. N. (2017). *Proyecto Arduino y Proteus*.
- Santos, M. (2011). Un enfoque aplicado del control inteligente. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 8(4), 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.09.016>
- Sarria, V., Parra, S., Rincón, Á., Torres, R., & Pulgarín, C. (s. f.). Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales y de bebida. *Revista colombiana de química*,.
- Solé, A. C. (2012). *Instrumentación industrial*. (Marcombo, Ed.).
- Soriano García, J. A. (s. f.). Desarrollo de un sistema de adquisición de datos inteligentes conforme a la norma IEEE Std 14514 (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Sulaeman, C. & kusunadi. (2011). Kalibrasi Temperatur pada PT100 dan Thermocouple. *Jurnal Ilmiah Elite Elektro*, 2(2), 99-104.
- Wobschall, D. (2007). IEEE 1451 - A universal transducer protocol standard. En *AUTOTESTCON (Proceedings)* (pp. 359-363). <https://doi.org/10.1109/AUTEST.2007.4374241>.