



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA

**“SISTEMA DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS DEL
POTENCIAL DE HIDROGENO (PH) PARA UN FOTOBIORREACTOR DE
MICROALGAS”**

AUTOR:

TANIA VANESSA PAUCAR SUNTASIG

DIRECTOR:

ING. MILTON ALEJANDRO GAVILANES VILLALOBOS

Ibarra-Ecuador

2021

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento al Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172526285-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Paucar Suntasig Tania Vanessa		
DIRECCIÓN:	Ibarra – Ecuador		
EMAIL:	tvpaucars@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	02 2331588	TELÉFONO MÓ-VIL:	983477025

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (PH) PARA UN FOTOBIO-RREACTOR DE MICROALGAS
AUTOR:	Tania Vanessa Paucar Suntasig
FECHA:	08/12/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
DIRECTOR:	Ing. Milton Gavilanes

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra, objeto de la presente autorización, es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 15 de septiembre del 2021



Firma

Nombre: Tania Vanessa Paucar Suntasig

Cédula: 172526285-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “SISTEMA DE MEDICIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (PH) PARA UN FOTOBIORREACTOR DE MICROALGAS”, presentado por el egresado Tania Vanessa Paucar Suntasig, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, diciembre de 2020

Ing. Milton Gavilanes

TUTOR DEL TRABAJO DE AGRADO

AGRADECIMIENTO

A mis padres, que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

De igual forma, agradezco a mi director de tesis Ing. Milton Gavilanes quien con su conocimiento, experiencia y motivación me oriento en la investigación.

Vanessa Paucar

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se la dedico a mis padres, Antonieta y Fausto, pilares fundamentales en mi vida, quienes con amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir una meta más.

A mi hermano Mauricio por estar siempre cuidándome y brindándome aliento para seguir adelante.

Vanessa Paucar.

Resumen

El presente trabajo muestra el desarrollo de un sistema de medición y adquisición de datos del potencial de hidrógeno para microalgas en fotobiorreactores, muchos factores contribuyen para el desarrollo óptimo del cultivo, algunos de estos afectan las características de crecimiento al no estar monitoreadas, entre ellos se encuentra la variable de pH y temperatura.

Mediante una visita técnica a los laboratorios de Biotecnología de la Universidad Técnica del Norte, donde, se evidencio necesidades al momento de medir la variable del pH en los cultivos de microalgas, también se realizó una recopilación bibliográfica de sus cultivos, parámetros de crecimiento, sistemas de mediciones de pH, esta información permitió establecer los requerimientos del sistema.

Con los requerimientos establecidos y la información adquirida se procedió a realizar el diseño del dispositivo, el Hardware compuesto por sensores de pH (Atlas Scientific I2C), temperatura (Ds18b20), módulo lector de tarjeta microSD bus SPI, pantalla oled 128x64 I2C, modulo RTC (Ds3231), conversor de voltaje a corriente de 0-5 V a 4-20 mA, relés, y en el software un interfaz digital para visualizar los valores medidos y facilitar el control del dispositivo.

Para comprobar el funcionamiento del dispositivo se procedió a realizar la calibración del sensor utilizando las soluciones que provee el fabricante de 4.00, 7.00 y 10.00; los resultados de medición fueron comparados con las mismas sustancias, se obtuvo un error relativo de 0.375, 0.215 y 0.20 respectivamente.

Para la verificación de lecturas autónomas y almacenamiento se realizó pruebas en un fotobiorreactor casero que contenía agua potable, durante tres días, los resultados fueron favorables.

Abstract

The work shows the development of a system for measuring and data acquisition of hydrogen potential for microalgae in photobioreactors. Many factors contribute to the optimal development of the crop, some of them affect the growth characteristics because they are not monitored, among them is the variable of pH and temperature.

Through a technical visit to the Biotechnology laboratories of the Universidad Técnica del Norte, where, it was evident needs at the moment of measuring the variable of pH in the microalgae cultures, also was made a bibliographical compilation of its cultures, parameters of growth, systems of pH measurements, this information allowed establishing the requirements of the system.

With the established requirements and the acquired information, the design of the device was carried out. The hardware is composed by sensors of pH (Atlas Scientific I2C), temperature (Ds18b20), microSD card reader module, oled screen 128x64 I2C, RTC module (), voltage to current converter from 4 to 20 mA, relays, and in the software a digital interface to visualize the measured values and to facilitate the control of the device.

To check the operation of the device, the sensor was calibrated using the solutions provided by the manufacturer of 4.00, 7.00 and 10.00; the measurement results were compared with the same substances, and a relative error of 0.375, 0.215 and 0.20 was obtained respectively.

For the verification of autonomous readings and storage, tests were made in a home photobioreactor with water, during three days, the results were favorable.

INDICE

CERTIFICACIÓN	IV
DECLARACIÓN	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS	XV
INTRODUCCIÓN	1
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
ALCANCE.....	3
JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO I.....	5
1 MARCO TEÓRICO	5
1.1 MICROALGAS	5
1.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MICROALGAS.....	6
1.2.1 <i>Sistemas abiertos.</i>	6
1.2.2 <i>Sistemas Cerrados.</i>	7

1.2.2.1	Fotobiorreactores.....	7
1.3	PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE LAS MICROALGAS	7
1.3.1	<i>Luz</i>	7
1.3.2	<i>pH</i>	8
1.3.3	<i>Temperatura</i>	8
1.3.4	<i>Nutrientes</i>	8
1.4	TIPOS DE MEDIDORES DE PH.....	8
1.4.1	<i>Tiras medidoras de pH</i>	9
1.4.1.1	Modo de uso de las tiras medidoras de pH	9
1.4.2	<i>Gotas indicadoras de pH</i>	10
1.4.2.1	Modo de uso de las gotas indicadoras.....	10
1.4.3	<i>pHmetro</i>	10
1.5	TARJETAS DE DESARROLLO	11
1.5.1	<i>Arduino Mega</i>	12
1.6	PANTALLA OLED I2C	13
1.6.1	<i>Características de la pantalla Oled I2C</i>	13
1.7	MÓDULOS RTC	14
1.7.1	<i>Módulo Ds1307</i>	14
1.7.1.1	Características del módulo RTC Ds1307.....	15
1.7.2	<i>Módulo Ds3231</i>	15
1.7.2.1	Características del módulo RTC Ds3231.....	15
CAPÍTULO II.		17
2	METODOLOGÍA.....	17
2.1	DISEÑO CONCEPTUAL.....	17
2.1.1	<i>Diagrama Conceptual</i>	17
2.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	18
2.3	SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS	19
2.3.1	<i>Matriz Morfológica</i>	19
2.3.2	<i>Alternativas de solución</i>	20

2.3.2.1	Solución A, Línea Azul	20
2.3.2.2	Solución B, Línea Verde.....	21
2.3.2.3	Solución C, Línea Amarilla	21
2.3.2.4	Solución D, Línea Roja.....	21
2.3.3	<i>Selección de Alternativa</i>	21
2.3.3.1	Selección por criterios ponderados	21
2.3.3.2	Sensor Atlas Scientific I2C pH.....	23
2.3.3.2.1	Principio de funcionamiento.....	23
2.3.3.3	Sensor de temperatura Ds18b20 encapsulado	24
2.3.3.3.1	pH con compensación de temperatura	24
2.3.3.4	Arduino Mega.....	25
2.3.3.5	Pantalla Oled	25
2.3.3.6	Módulo para memoria SD.....	25
2.3.4	<i>Módulo conversor de voltaje a corriente</i>	26
2.3.5	<i>Relés</i>	27
2.4	DESARROLLO DEL SOFTWARE.....	27
2.4.1	<i>Programación del sistema de medición y adquisición de pH.</i>	27
2.5	MODELO 3D DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA	29
CAPÍTULO III.....		30
3	CONSTRUCCIÓN Y RESULTADOS	30
3.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE SENSORES EN PROTOBOARD.....	30
3.1.1	<i>Pruebas de funcionamiento del sensor pH</i>	30
3.1.2	<i>Prueba de funcionamiento del sensor de temperatura</i>	31
3.2	PLACA DE CONEXIÓN	31
3.3	DISPOSITIVO FINAL.....	32
3.4	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	32
3.4.1	<i>Calibración del sensor</i>	33
3.4.2	<i>Lecturas autónomas y almacenamiento de datos</i>	35
3.4.3	<i>Salidas de alarma</i>	36

3.4.3.1	Alarma de rango Mínimo.....	37
3.4.3.2	Alarma de rango máximo	37
3.4.4	<i>Señal analógica de 4 a 20 mA</i>	37
CAPITULO IV.....		39
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5.1	CONCLUSIONES	39
5.2	RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA		41
ANEXOS		44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las fases de producción de la biomasa de algas. [8].....	6
Figura 2. Arduino Mega. [12]	13
Figura 3. Módulo RTC Ds1307. [13]	14
Figura 4. Módulos RTC Ds3231. [14]	15
Figura 5. Diagrama conceptual	18
Figura 6. Diagrama Funcional del sistema de medición y adquisición de datos.	18
Figura 7. Matriz Morfológica	20
Figura 8. Gráfico (a) datos sin compensar temperatura, gráfico (b) dato con compensación de temperatura. [15].....	25
Figura 9. Flujograma del funcionamiento principal del sistema.....	28
Figura 10. A) Pieza 1 soporte principal, B) Pieza 2 tapa del soporte, C) Ensamblaje de la estructura.....	29
Figura 11. Prueba de funcionamiento del sensor pH.	30
Figura 12. Pruebas de funcionamiento del sensor de temperatura.....	31
Figura 13. Placa PCB.....	32

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiras medidoras de pH	9
Tabla 2. Gotas indicadoras de pH	10
Tabla 3. pHmetro.....	11
Tabla 4. Características de tarjetas de desarrollo.	12
Tabla 5. Tabla de criterios ponderados	22
Tabla 6. Valores de medición pH solución 4.00	33
Tabla 7. Valores de medición pH solución 7.00	34
Tabla 8. Valores de medición pH solución 10.00	34
Tabla 9. Registro de datos en microSD	35
Tabla 10. Resultados de salida analógica.....	37

INTRODUCCIÓN

Descripción del problema

Las microalgas han adquirido gran importancia en los últimos años, ya que son fuentes de producción de biocombustibles, medicamentos, fertilizantes e incluso tiene beneficios ambientales que reduce el efecto invernadero, ya que se alimentan de CO₂ (Mario et al., 2015). Muchos factores contribuyen para el desarrollo óptimo de los cultivos de microalgas, algunos de éstos afectan las características del crecimiento, por lo que es necesario tomar en cuenta las variables de pH, Conductividad Eléctrica, Oxígeno y Temperatura que se miden con instrumentación (Cartagena et al., 2017).

En la actualidad el cultivo de microalgas en algunos casos se lleva a cabo en fotobiorreactores que no cuentan con un sistema de monitoreo, registro de pH y temperatura, por otro lado, existen fotobiorreactores automatizados que miden las variables que influyen en el desarrollo y crecimiento de las microalgas, los mismos que se importan con un costo elevado.

El crecimiento de microalgas se ve afectado cuando las variables fisicoquímicas, temperatura y pH sobre pasan los rangos óptimos (Hernandez et al., 2014), en el caso del pH la mayoría de los nutrientes no se disuelven, causando deficiencias en su crecimiento, cuando el pH es demasiado bajo los microorganismos mueren rápidamente, pero en un rango adecuado aporta con su crecimiento y aumenta la producción de biomasa. Las microalgas necesitan que las mediciones de pH sean tomadas periódicamente, dado que este factor es fluctuoso conforme va creciendo el cultivo, por esta razón, el usuario está obligado a realizar actividades que involucra la apertura del fotobiorreactor para la toma de datos, esto implica la

contaminación y exposición de las microalgas frente a microorganismos externos que se alimentan de las mismas.

Las microalgas son recursos biológicos renovables que ayudan a combatir la contaminación ambiental; además forman parte de la bioeconomía, que con el transcurso del tiempo está jugando un papel cada vez más importante considerando que pretende una economía sostenible mediante el uso de fuentes naturales como la biomasa, la cual tiene múltiples aplicaciones (Adrián Rodríguez et al., 2019), por esta razón la necesidad de mejorar las condiciones de cultivo en los fotobiorreactores.

Objetivo general

Implementar un sistema de medición y adquisición de datos del potencial de hidrógeno (pH) en un fotobiorreactor.

Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos del sistema para la medición y adquisición de datos de pH.
- Definir el método para la adquisición y procesamiento de datos.
- Diseñar un sistema para medición y adquisición de datos de pH.
- Implementar y realizar pruebas de funcionamiento en un fotobiorreactor para cultivos de mediana escala de microalgas.

Alcance

El tema propuesto tiene como objetivo implementar un sistema de medición y adquisición de datos del potencial de hidrogeno (pH) en un fotobiorreactor para cultivos de mediana escala de microalgas.

El sistema permitirá tomar mediciones autónomas de pH, la misma, que se almacenará periódicamente en un dispositivo externo en intervalos programados por el usuario, esta variable será procesada mediante una tarjeta de adquisición y procesamiento de datos, y se visualizará la última lectura en un indicador local. Dispondrá de contactos configurables para alarma, además tendrá salida de señal analógica estandarizada.

Otra cualidad del sistema es que contará con la opción de recalibrar el sensor para evitar errores de lectura, se complementará el trabajo con manuales de uso y calibración.

Justificación

El avance de biorreactores automatizados en la actualidad a experimentado una mejora en la calidad del proceso, estos sistemas han permitido optimizar el crecimiento, y la producción de biomasa en microalgas (J. R. Benavente-Valdés et al., 2015). En Ecuador existen fotobiorreactores automatizados que proporcionan mediciones de estas variables, pero por su alto costo no es accesible.

En la Universidad Técnica del Norte en los laboratorios de Biotecnología existen fotobiorreactores para el cultivo de microalgas, los cuales, son utilizados con fines académicos y se enfocan en la toma de datos con el objetivo de mejorar las condiciones del cultivo, proceso que se lleva acabo manualmente con instrumentación que es de uso común

en los laboratorios, estas variables deben ser monitoreadas periódicamente y esto involucra la apertura del fotobiorreactor que conlleva a contaminación de las microalgas.

La implementación de un sistema de medición, adquisición y procesamiento de datos tiene como finalidad automatizar el proceso, minimizando los riesgos de contaminación y aumentando la probabilidad de un crecimiento óptimo, permitiendo al personal una fácil accesibilidad al control del mismo y sin necesidad de una intervención manual.

CAPÍTULO I.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Microalgas

Las microalgas son organismos unicelulares y pertenecen al reino protista, esto quiere decir, que no son plantas, animales y tampoco hongos; varían tanto en tamaño como en forma, y llegan a vivir en cualquier ambiente como en el suelo o agua, en esta última se encuentra su gran mayoría que pueden ser marinas o dulceacuícolas (Cartagena y Orlando, 2017). Las microalgas son productoras de oxígeno debido a que realizan la fotosíntesis como cualquier planta, y al ser microorganismos unicelulares tienen mayor conversión de energía solar y CO₂ en biomasa. El desarrollo de estos microorganismos son de gran importancia ya que, se estima que un 50 % de la fotosíntesis en la tierra proviene de estos (Escribano y Lomas, 2017).

El cultivo de microalgas se ha venido desarrollando desde décadas atrás dado que han servido al ser humano como alimentación, medicina y agricultura (Guamán y Gonzalez, 2016). En los últimos años las investigaciones aumentaron debido a que tiene múltiples aplicaciones como la producción de biocombustibles (biodiesel, bioetanol, biometano y biohidrógeno), electricidad, nutrición, cosméticos y biofertilizantes, también ayudan a reducir la emisión de CO₂ y es usado en tratamientos de aguas residuales, el proceso para la elaboración de biomasa se puede observar en la figura 1. (Ana María Santos et al., 2014)

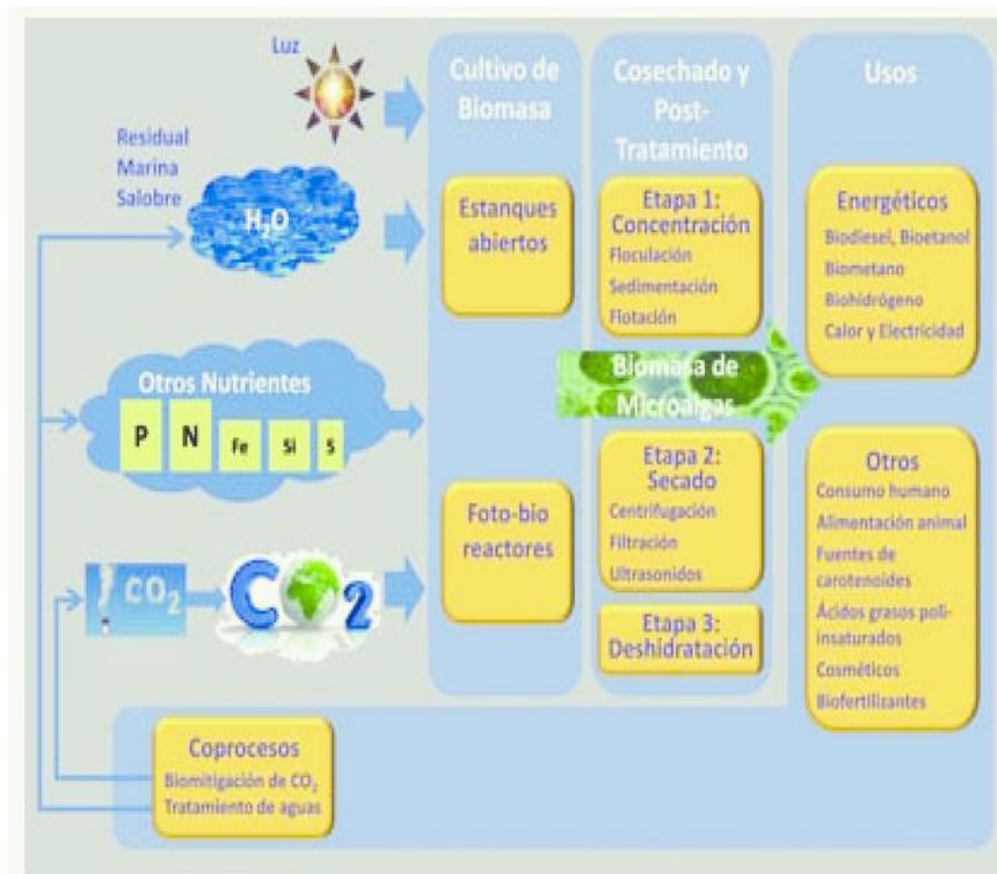


Figura 1. Esquema de las fases de producción de la biomasa de algas. (Ana María Santos, Yolanda Gonzalez Arechavala, Carlos Matín Sastre, 2014)

1.2 Sistemas de producción de microalgas.

Existen dos tipos de sistemas de cultivo abierto y cerrado, y cada uno de ellos presenta sus ventajas e inconvenientes, para un cultivo de microalgas se necesita tener un sistema que aumente la productividad, bajo costo de inversión y mantenimiento control de las variables que aportan con el crecimiento (temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno). (Cua y Elda Rufina, 2015)

1.2.1 Sistemas abiertos.

Este tipo de sistema realiza el proceso de cultivo en estanques, lagos, lagunas, tanques artificiales; son fáciles de construir y tienen menor necesidad de mantenimiento, a su vez el

controlar los diferentes parámetros (Temperatura, pH, CE, Oxígeno) es difícil; al ser un sistema abierto las microalgas están expuestas a contaminación de bacterias o microorganismos que se encuentran en el ambiente. (Navarrete y Guerrón, 2015)

1.2.2 Sistemas Cerrados.

1.2.2.1 Fotobiorreactores.

El cultivo en fotobiorreactores regula y controla las variables fisicoquímicas que aumentan la productividad y optimizan el crecimiento, al verse aisladas tienen menos riesgos de contaminación, dependiendo del material tienen dificultades con la penetración de la luz, el agua se condensa; su fabricación y mantenimiento es costoso. (Cua y Rufina May, 2015)

1.3 Parámetros de crecimiento de las microalgas

Para un crecimiento óptimo se debe regular los factores que afectan el crecimiento, debido a que cada especie de microalga tiene un intervalo diferente de intensidad de luz, pH, temperatura y nutrientes. (María Alexandra Cabrera Cabrera, María Fernanda Pulla Tenemaza, 2014)

1.3.1 Luz

La Intensidad de la luz es proporcional al crecimiento algal, si el porcentaje de luz es baja su crecimiento se ve afectado, con el aumento de luz puede llegar al rango óptimo y su crecimiento aumenta, en caso de sobrepasarse ocasiona la muerte provocada por fotoinhibición. (Cabrera y Tenemaza, 2014)

1.3.2 pH

Al igual que la luz, el potencial de hidrogeno al estar en un rango óptimo aporta con el crecimiento de microalgas, y cada especie tiene un valor específico. El pH influye directamente en el crecimiento por disociación y solubilidad, que pueden generar efectos tóxicos, o retrasan el crecimiento (Guamán y Gonzalez, 2016). Otro factor que altera esta variable es la concentración de CO₂, si este disminuye el pH aumenta. (Navarrete y Guerrón, 2015)

1.3.3 Temperatura

Algunas especies de microalgas pueden resistir una temperatura en un rango de 28° a 35° C (Alexis Hernandez Pérez, José Labbe, 2014), esto depende del tipo de microalga y el ambiente en el que se encuentre ya que, algunas sobreviven en condiciones extremas como la Chlorella que vive entre 5° a 42° C. (Navarrete y Guerrón, 2015)

1.3.4 Nutrientes

Las microalgas también necesitan de nutrientes como nitrógeno, carbono y fósforo, que se pueden incorporar como nitrato (NO₃), amonio (NH₄), HPO₄. Estos nutrientes no deben ser un factor limitante ya que aumentan los lípidos y esto influyen en el crecimiento. (Navarrete y Guerrón, 2015)-

1.4 Tipos de medidores de pH


Para medir el pH de una disolución tenemos 3 opciones diferentes, cada una tiene sus ventajas y desventajas estos métodos de medición van desde usos simples y económicos; sin

embargo, son menos efectivos, a formas de uso más complejas y costosas con las cuales se recibe una respuesta más aproximada a la real.

1.4.1 Tiras medidoras de pH

Son tiras de papel indicadoras de pH algunas llegan a medir toda la escala, es decir de 1 a 14, asimismo existen excepciones que miden rangos más pequeños. Este método de medición de pH es muy sencillo usar, pero no muy fiable, este método tiene sus ventajas y desventajas como se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Tiras medidoras de pH

Método	Ventajas	Desventajas	Ilustración
Tiras medidoras de Ph	Son fáciles de usar debido a que solo se necesita comparar el color que da como resultado con la tabla de colores que proporciona el fabricante, además son más económicas que otros métodos de medición.	Se pueden usar una sola vez, son poco fiables; su exactitud es de 0.5 a 1, otro inconveniente es el color que da como resultado, puede ser difícil diferenciar en la tabla de colores.	

Fuente: Autoría propia.

1.4.1.1 Modo de uso de las tiras medidoras de pH


Las tiras medidoras de pH son fáciles de usar.

- Se toma la tira reactiva y se coloca en el líquido que se va a medir.
- Se deja humedecida de 1 a 20 segundos (esto depende del fabricante).
- Una vez pasado el tiempo retiramos la tira de la disolución.
- Se compara el color de la tira con la tabla de colores que viene incluida en el paquete y se tiene el valor.

1.4.2 Gotas indicadoras de pH

Las gotas indicadoras son un método para la medición de pH en líquidos, mantienen rangos pequeños como por ejemplo 6.8 a 8.2, también 4 a 8.5 existen diferentes niveles dependiendo de la necesidad del usuario, las ventajas y desventajas de este método se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Gotas indicadoras de pH

Método	Ventajas	Desventajas	Ilustración
Gotas indicadoras de pH	fácil de usar, al igual que las tiras de medición es necesario comparar el color resultante con la tabla de colore, no son costosos	Rangos pequeños de medición, tomas limitadas generalmente el frasco sirve para 50 tomas, su resolución puede variar desde 0,2 a 1.	

Fuente: Autoría propia.

1.4.2.1 Modo de uso de las gotas indicadoras

Este método es uno de los más sencillos de usar. generalmente un frasco de este indicador puede alcanzar las 100 usadas.


- Tome una muestra del líquido a analizar
- Añadir 3 gotas indicadoras de pH en el recipiente
- Agitar y comparar el resultado con la tabla de colores que incluye el fabricante.

1.4.3 pHmetro

Los medidores de pH potenciométricos por lo general tienen una sonda de vidrio y uno de referencia, los cuales son sensibles a la concentración de hidrogeno. Estos dispositivos son muy usados, ya que cuentan con una mayor precisión en las lecturas, este método de

medición del potencial de hidrogeno tiene sus ventajas y desventajas como se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. pHmetro




Método	Ventajas	Desventajas	Ilustración
pHmetro	Amplio rango de medición de 0 a 14, resolución de 0.1, es decir, resultados fiables, respuesta rápida y son reutilizables.	Es necesario realizar una calibración periódica, pueden llegar hacer costosas.	

Fuente: Autoría propia.

1.5 Tarjetas de desarrollo

En el mercado existen varias opciones de tarjetas de desarrollo como se muestra en la tabla 4, estos dispositivos cuentan con un software libre que permiten el prototipado de sistemas. Para el diseño de un proyecto es indispensable seleccionar uno que se adapte al trabajo a realizarse tomando en cuenta los requerimientos planteados.

Tabla 4. Características de tarjetas de desarrollo.

			
Características	Arduino Uno	Arduino Mega	Raspberry pi 3
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega2560	
Tensión de funcionamiento	5V	5V	5V
Voltaje de entrada	7-12V	7-12V	5V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V	6-20V	5V
Digital pines I/O	6	39	26
PWM digital pines I/O	6	15	si
Pines de entrada analógica	8	16	0
Corriente DC por Pin I/O	20mA	20mA	3.3mA
Corriente DC por Pin 3.3 V	50mA	50mA	3.3mA
Memoria flash	32KB	256 KB	1 Gb
EEPROM	1 KB	4 KB	
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	1.2 GHz
Longitud	68.6 mm	101.52 mm	85.6
Anchura	53.4 mm	53.3 mm	56.5
Peso	25 g	37 g	50 g
Wifi	no	no	si
Ethernet	no	no	si
Bluetooth	no	no	si

Fuente: Autoría propia.

La mayoría de los microcontroladores tienen protocolos de comunicación similares, así como también puertos de entrada y salida es por ello por lo que se detalla a profundidad un modelo como lo es Arduino Mega.

1.5.1 Arduino Mega

Arduino Mega es una tarjeta electrónica de adquisición y procesamiento de datos analógicos y digitales que está basado en el Atmega2560, tiene una memoria SRAM de 8 Kbyte que permite la creación y manipulación de variables locales y datos parciales, este recurso es limitado y único de cada tipo de microcontrolador, consta con 54 pines de salidas y entradas digitales, 16 pines pueden ser utilizados como salidas analógicas. Además, tiene 3 métodos de alimentación, por cable USB que puede ser conectado directamente al

computador para su comunicación, un adaptador AC/DC o una batería, consta de un botón de reset y un conector ICSP, el modelo físico es como se muestra en la figura 2. (Arduino, 2020)

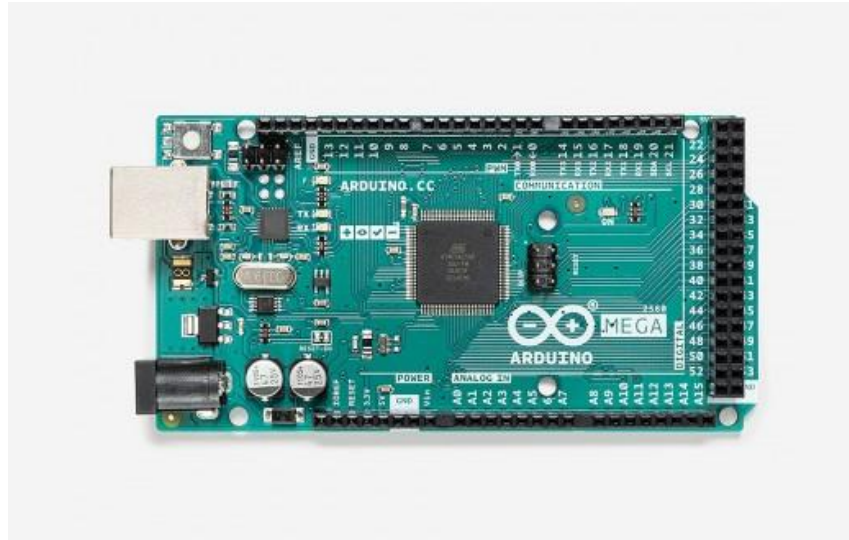


Figura 2. Arduino Mega. (Arduino, 2020)

1.6 Pantalla Oled I2C

Esta pantalla tiene un gran contraste y un consumo mínimo de energía, cuenta con una resolución de 128x64 píxeles, además permite controlar cada uno de estos de forma individual, este visualizador muestra textos y gráficos, su protocolo de combinación es I2C.

1.6.1 Características de la pantalla Oled I2C

- Voltaje de Operación: 3V – 5.5V DC
- Driver: SH1106
- Interfaz: I2C (dirección I2C: 0x3C)
- Resolución: 128x64 píxeles
- Monocromo: Píxeles Blancos
- Ángulo de visión: >160°
- Ultra bajo consumo de energía: 0.04W cuando están encendidos todos los píxeles

- Dimensiones: 35mm x 33mm x 3mm
- Temperatura de trabajo: -30°C ~ 70°C

1.7 Módulos RTC

Un módulo RTC es un dispositivo electrónico que realiza mediciones de tiempo, no como los relojes que habitualmente se usan, los cuales miden el tiempo solo contabilizando los pulsos de una señal y no existe relación directa con las unidades temporales, estos son más bien parecidos a los relojes y calendarios que funcionan con segundos, minutos, horas, día, mes y año. (Luis, 2016)

Los módulos RTC permiten reducir el consumo de energía, brindan precisión y disminuyen el trabajo del microprocesador. En la electrónica propuesta por Arduino existen dos tipos de módulos RTC el Ds1307 y el Ds3231. La comunicación de estos dispositivos es mediante I2C que permite obtener fácilmente los datos medidos. (Luis, 2016)

1.7.1 Módulo Ds1307

Uno de los grandes problemas que presenta este modelo es la inestabilidad en la medición del tiempo cuando se expone a variaciones de temperatura, provocando así un desfase de 1 a 2 minutos por día, el creador Maxim soluciono este problema con otro nuevo modelo, véase en la figura 3. (Luis, 2016)

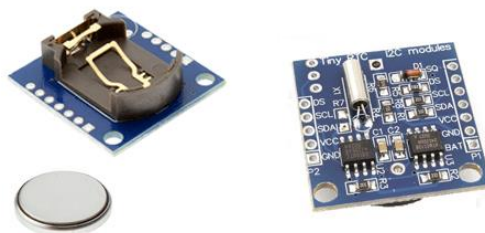


Figura 3. Módulo RTC Ds1307. (Luis, 2016)

1.7.1.1 Características del módulo RTC Ds1307

- Rango de voltaje de entrada: 4.5Vdc a 5.5Vdc.
- Rango de voltaje de Batería: 2Vdc a 3.5Vdc.
- Máxima corriente de consumo: 1.5 mA.
- Puerto de comunicación: I2C.
- Frecuencia máxima de transmisión: 100KHz.
- Formato BCD.
- Rango de operación de temperatura: de 0°C a +70°C).
- Dimensiones: Largo 2.8cm; ancho 2.7cm; alto 0.9cm.

1.7.2 Módulo Ds3231

El Módulo Ds3231 como se observa en la figura 4, puede sustituir al Ds1307 debido a que en este nuevo modelo se incorpora medición y compensación de temperatura mejorando así su precisión, el desfase disminuye a 172ms/día, es decir, un segundo cada 6 días. (Luis, 2016)

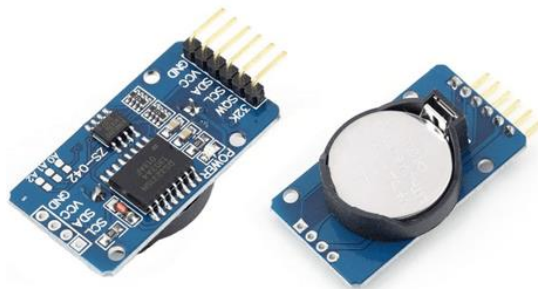


Figura 4. Módulos RTC Ds3231. (Factory, 2020)

1.7.2.1 Características del módulo RTC Ds3231

- Voltaje de alimentación de 3.0 a 5 volts.

- RTC de alta exactitud, maneja todas las funciones para el mantenimiento de fecha/hora.
- Exactitud de ± 2 ppm operando a una temperatura de 0°C a $+40^{\circ}\text{C}$.
- Módulo cuenta con reloj DS3231 y memoria EEPROM I2C.
- El módulo cuenta con batería de respaldo (incluida).
- Registro de segundos, minutos, horas, día de la semana, fecha, mes y año con compensación de años bisiestos hasta 2100.
- El DS3231 Incluye sensor de temperatura con exactitud de ± 3 grados centígrados.
- 2 alarmas programables por hora/fecha.
- Salida de señal cuadrada programable.

CAPÍTULO II.

2 METODOLOGÍA

2.1 Diseño Conceptual

El diseño conceptual está basado bajo los criterios obtenidos en la visita técnica realizada en los laboratorios de Biotecnología de la Universidad Técnica del Norte, donde, se realizaron preguntas a los especialistas y estudiantes involucrados en el área; se establecieron los requerimientos en base a las necesidades del cultivo de microalgas en fotobiorreactores, las cuales son:

- Tomar lecturas autónomas en periodos de 4 o 6 horas.
- Mantener una precisión y exactitud al menos 20 días.
- Almacenamiento de datos extraíbles.
- Estabilidad rápida del sensor.
- Opción de rangos programables por el usuario.
- Salida de alarma.
- Lecturas manuales.
- Fácil de usar.

2.1.1 Diagrama Conceptual

El diagrama conceptual que se muestra en la figura 5. Cuenta con dos sensores pH y temperatura, los cuales están conectados a una tarjeta de desarrollo mediante protocolo I2C en donde los datos del sensor de pH y temperatura son almacenados con fecha y hora.

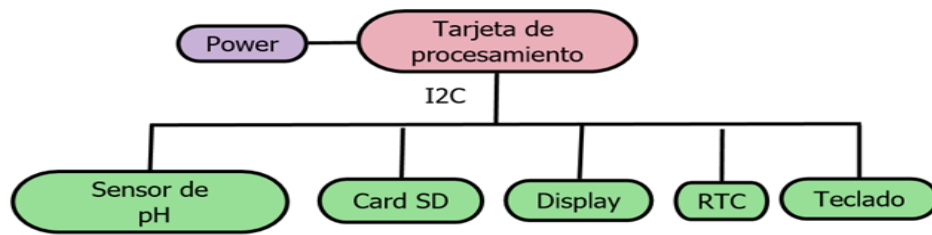


Figura 5. Diagrama conceptual

2.2 Descripción general del sistema

El sistema recibe señales de sensores de pH y temperatura, estos se encuentran sumergidos en un fotobiorreactor con un cultivo de microalgas, los datos obtenidos se almacenan en una memoria microSD, los cuales, permiten monitorear el proceso de crecimiento, además tiene dos salidas de alarma y una analógica estandarizada de 0-5 V a 4-20 mA.

El dispositivo debe cumplir con las características mencionadas en el *epígrafe 2.1* por lo que se propone 3 etapas como se puede apreciar en la figura 6.

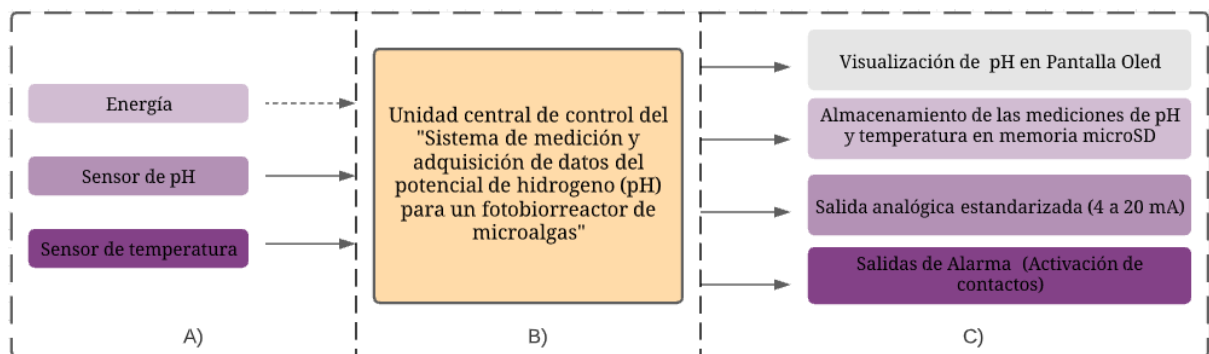


Figura 6. Diagrama Funcional del sistema de medición y adquisición de datos.

Etapas 1. Señales de entrada en este módulo los sensores de pH y temperatura se encargan de tomar datos fisicoquímicos del fotobiorreactor, como se visualiza en la figura 8.A

Etapa 2. Procesamiento de datos los datos adquiridos se procesan en la tarjeta de desarrollo, figura 8.B

Etapa 3. Salidas Almacenamiento de datos en una memoria externa, visualización de valores procesados en una pantalla Oled, dos salidas de alarmas y una analógica estandarizada, figura 8.C

2.3 Selección de componentes electrónicos

A continuación, se detalla el proceso utilizado para la selección de dispositivos esenciales de este prototipo.

2.3.1 Matriz Morfológica

La matriz morfológica cumple un rol importante en este tipo de proyectos, debido a su versatilidad para generar alternativas de solución y mediante un método de selección optar por el mejor conjunto de elementos. Por ejemplo, en este prototipo se utilizó la matriz morfológica y el método de hitos ponderados, logrando de esta forma tomar una decisión más objetiva en la selección de componentes electrónicos más importantes.

En la matriz morfológica presentada en la figura 7 se realiza una descomposición de los dispositivos básicos requeridos para el sistema de medición y adquisición de datos de pH en una matriz que permita combinar los posibles elementos para la construcción del dispositivo.

- Sensor pH. – Medir acides o alcalinidad de una solución.
- Tarjeta de adquisición. – Para el procesamiento de datos.
- Visualizador local. – Mostrar datos o información al usuario.
- Almacenamiento. – Guardar los datos en un documento.





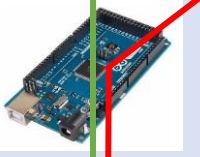
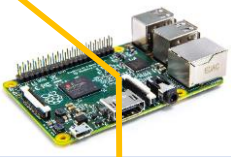
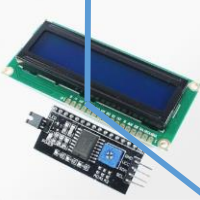
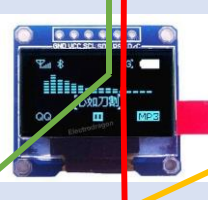
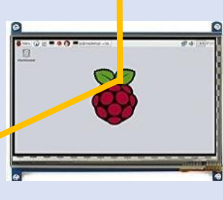
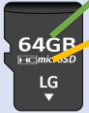

Fotobiorreactor	Mediana escala		
Sensor pH			
	sensor analógico pH 4502C	Sensor digital Atlas scientific I2C pH	Sensor pH E-201-C
Tarjeta Adquisición y procesamiento de datos			
	Arduino UNO	Arduino MEGA	Raspberry pi 3
Visualizador Local			
	LCD 16X2 I2C	Pantalla Oled 128x64	LCD Tft 7
Almacenamiento			
	Externo tarjeta CardSD	Interna	

Figura 7. Matriz Morfológica

2.3.2 Alternativas de solución

2.3.2.1 Solución A, Línea Azul

En esta solución el sistema funcionará con un sensor analógico pH 4502C, los datos se guardan en una memoria interna y su adquisición mediante una tarjeta Arduino UNO, los datos se muestran en un indicador LCD 16x2 I2C.

2.3.2.2 Solución B, Línea Verde

El sistema funciona con un sensor digital Atlas Scientific I2C pH y sus lecturas se visualizarán en una pantalla Led Oled 128x64 I2C y los datos obtenidos se guardarán en una tarjeta externa SD la adquisición y procesamiento se realizará mediante un Arduino MEGA.

2.3.2.3 Solución C, Línea Amarilla

Para esta solución el sistema utiliza un sensor digital Atlas Scientific I2C pH y sus datos se obtendrán utilizando Raspberry pi 3 las lecturas se mostrarán en un visualizador local LCD Tft 7, los datos obtenidos se guardarán en una tarjeta externa SD.

2.3.2.4 Solución D, Línea Roja

Se utiliza un sensor analógico pH E-201-C, con una tarjeta de procesamiento Arduino MEGA, las lecturas se visualizan en una pantalla Led Oled 128x64 I2C, los datos obtenidos se guardan en una memoria interna.

2.3.3 Selección de Alternativa

Seleccionar la alternativa óptima que cumpla con todos los parámetros y se adapten al entorno de un fotobiorreactor necesarios para el sistema de medición y adquisición de datos del potencial de hidrogeno mediante el método de criterios ponderados.

2.3.3.1 Selección por criterios ponderados

Se aplicó el método de criterios ponderados como se observa en la tabla 5, la cual fue usada para comparar las alternativas obtenidas en la matriz morfológica con los factores más relevantes como se menciona en este capítulo en el *epígrafe 2.1* en el cual, el peso relativo

describe el nivel de importancia de cada criterio y están evaluadas en una escala de 1 al 10, donde 1 es la calificación más baja y 10 la más alta.

Tabla 5. *Tabla de criterios ponderados*

Criterios/Solución	Importancia	Azul	Verde	Amarillo	Rojo
Exactitud de las mediciones	0,22	5	9	9	6
Tiempo de respuesta	0,18	5	8	8	5
Tiempo de calibración	0,18	2	9	9	2
Facilidad de operación	0,08	8	9	5	9
Capacidad de memoria SRAM	0,06	5	8	9	8
Compatibilidad con sensores y módulos	0,08	9	9	4	9
Costo	0,04	8	6	2	7
Capacidad de almacenar datos	0,08	7	5	5	7
Adaptación al espacio de trabajo	0,08	4	8	8	4
Total Ponderado		5,22	8,24	7,42	5,66

Fuente: Autoría propia.

Solución B, Línea Verde: El sistema se conecta a la red eléctrica, con un sensor digital de Atlas Scientific I2C pH, sus lecturas se visualizarán en una pantalla oled mediante el protocolo I2C, los datos obtenidos se guardarán en una tarjeta externa microSD la adquisición y procesamiento se realizarán con un Arduino Mega.

2.3.3.2 *Sensor Atlas Scientific I2C pH*

El sensor de Atlas Scientific de pH es el óptimo para el sistema de medición de un fotobiorreactor ya que cumple con los criterios de exactitud en la medición, el tiempo de respuesta es aproximadamente de 1 segundo, el tiempo de recalibración de 1 año, además su protocolo de comunicación es I2C, el cual permite facilidad al momento de ensamblar, el software de este bus de datos es más fácil de manejar y es uno de los protocolos más usados.

Tiene una resolución de +/- 0,001 según el fabricante, sin embargo, para este proyecto se requiere de +/- 0,1 por lo que se establece que está dentro de los requerimientos necesarios, son utilizados comúnmente por laboratorios.

2.3.3.2.1 *Principio de funcionamiento*

La sonda de pH tiene una membrana de vidrio en la punta con la cual mide los iones de hidrogeno de un líquido, los iones de hidrogeno se difunden en la capa exterior del vidrio mientras los iones más grandes permanecen en la solución, la diferencia de estas dos concentraciones crea una corriente pequeña, la cual, es proporcional a la concentración de iones de hidrogeno del líquido medido. El principio está definido por la ecuación 1. que lleva el nombre de Nernst, el cual se basa en la diferencia de potencial que es proporcional a los iones de Hidrogeno. (Scientific, 2020)

Ecuación 1. Principio de Nernst.

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{F} \ln(\alpha_{H^+}) = E^{\circ} - \frac{2.303RT}{F} pH$$

Donde:

E: es el potencial medido (en voltios) es detectado por la membrana de vidrio

E° : potencial de referencia

R: constante de gas

T: temperatura en grados Kelvin

F: constante de Faraday

2.3.3.3 Sensor de temperatura Ds18b20 encapsulado

El sensor de temperatura Ds18b20 encapsulado es el ideal para medir la temperatura en líquidos, debido a que es una versión impermeable, el rango de medición de este elemento es muy amplio (desde -55°C hasta 125°C), por lo tanto, es más que suficiente para un cultivo de microalgas. El error que presenta este sensor varía de acuerdo con el rango que trabaje, es decir, si la temperatura se encuentra dentro de -10°C hasta 85°C puede variar $\pm 0,5^\circ\text{C}$, mientras que para el resto se tiene un $\pm 2^\circ\text{C}$ de error. (Abraham G., 2020)

2.3.3.3.1 pH con compensación de temperatura

El principio de Nernst permite calcular el potencial de un electrodo cuando se encuentra fuera de las condiciones estándar, por lo tanto, la temperatura es un dato muy utilizado para la compensación en las mediciones de pH, ya que es una de las principales fuentes de error, en la figura 8 según el fabricante del sensor pH Atlas Scientific muestra un ejemplo de cómo influye la temperatura en las mediciones, en la figura 8.A se puede ver el resultado sin compensación de 8.82 y la otra considera la temperatura de $19,5^\circ\text{C}$ dando un pH de 8.91, este último resulta ser más cercano al valor real. (Scientific, 2020)

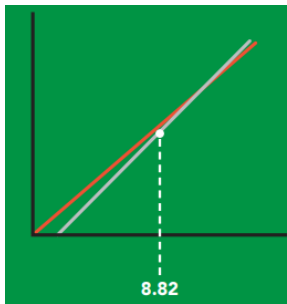


Fig. a

Fig. b

Figura 8. Gráfico (a) datos sin compensar temperatura, gráfico (b) dato con compensación de temperatura. (Scientific, 2020)

2.3.3.4 *Arduino Mega*

La tarjeta de adquisición y procesamiento de datos seleccionada mantiene los requerimientos de facilidad de operación del software, capacidad de memoria SRAM de 8k byte, alta compatibilidad con módulos y sensores, costo accesible y cumple con el número de entradas y salidas que se requiere.

2.3.3.5 *Pantalla Oled*

Para la visualización local se seleccionó una pantalla oled 128x64 este dispositivo tiene un protocolo I2C lo que facilita su ensamblaje y manejo, trabaja con un voltaje de 3.3V y 5V, además permite un mayor número de caracteres y de este modo poder crear diseños más amigables y llamativos para el usuario.

2.3.3.6 *Módulo para memoria SD*

Se utilizó un módulo lector de memoria microSD v0.9b, ya que es necesario llevar un registro y de esta forma tener un control del cultivo, esta información debe ser extraíble y así puedan ser utilizadas para analizar el comportamiento mediante graficas por el personal del

laboratorio, estudiantes y tesis. El documento de los datos almacenados se guardará en una tarjeta microSD, se seleccionó esta tarjeta debido a que puede ser reemplazada por otra dependiendo la capacidad que se necesite. Este elemento permite trabajar a 5 V, el cual es una salida del voltaje del Arduino mega, soporta microSD de hasta 2 GB y micro SDHC de hasta 32 GB.

2.3.4 Módulo conversor de voltaje a corriente

Para obtener una señal analógica estandarizada se usó el módulo MOD-V2C ya que este dispositivo permite la conversión de 0-5 V a 4-20 mA lo cual nos permite la comunicación con otros elementos como un PLC, tarjeta de datos o un transmisor que comúnmente son usados en la industria.

Las características técnicas de este módulo son:

- Voltaje de alimentación: 7 - 30 VDC
- Entrada - Voltaje rango: 0-5 VDC
- Salida - Corriente rango: 0-20 mA (proporcional al voltaje de entrada, límite max. y min. regulable)
- Regulador de voltaje LM317 en placa
- Opamp LM324 en placa
- Led indicador power
- Led indicador de conexión de salida de corriente
- Temperatura de funcionamiento: -10°C a +60°C

2.3.5 Relés

Uno de los requerimientos es incorporar dos salidas de alarma, una para cuando sobrepase el rango máximo y otra cuando esté por debajo del rango mínimo. Para llegar a este fin se hace uso de relés de 5V, cinco pines, voltaje de paso de 125 a 250 VAC y de 20 a 30 VDC con una corriente de 10 A y doble estado (NO/NC).

2.4 Desarrollo del software

El código está desarrollado en el entorno de programación de Arduino, debido a que es un software libre, flexible y fácil de utilizar, además tiene suficiente respaldo bibliográfico para que pueda ser utilizado por desarrolladores.

2.4.1 Programación del sistema de medición y adquisición de pH.

En la figura 9. se observa un flujograma que describe el funcionamiento principal del sistema que se basa en el procedimiento de toma de lecturas de pH y temperatura, almacenamiento de datos, alarmas de acuerdo con el rango establecido.

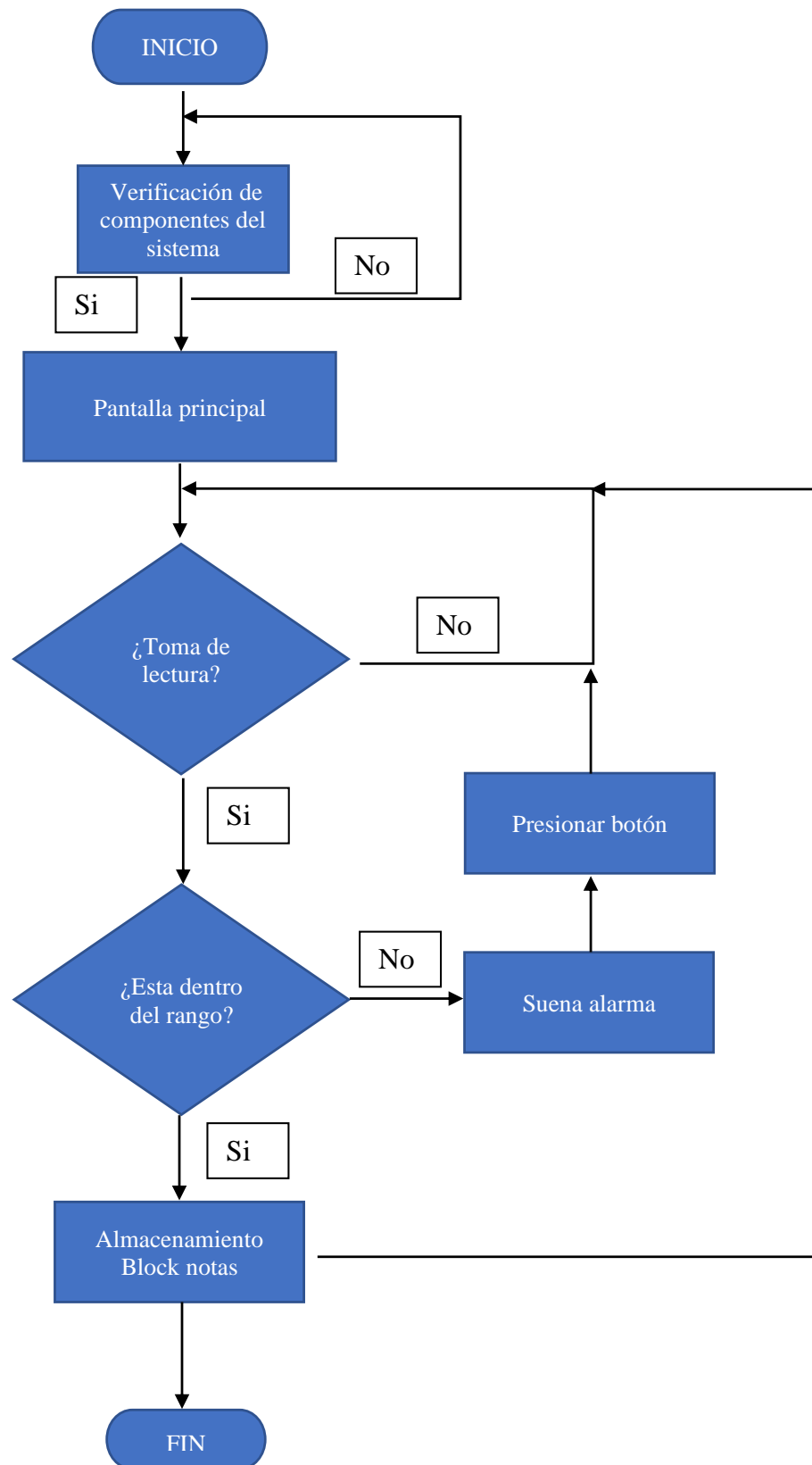


Figura 9. Flujograma del funcionamiento principal del sistema.

2.5 Modelo 3D de la estructura del sistema

Es necesario que el sistema cuente con una estructura resistente que brinde protección y soporte a los elementos electrónicos, para ello se busca realizar un diseño que sea acorde y se adapte al ambiente de trabajo.

La estructura se realiza en un software de diseño CAD 3D, que permite crear planos en 2D y modelar el producto final. Según la necesidad de los componentes electrónicos usados, se procedió a realizar la estructura en dos piezas como se observa en la figura 10.

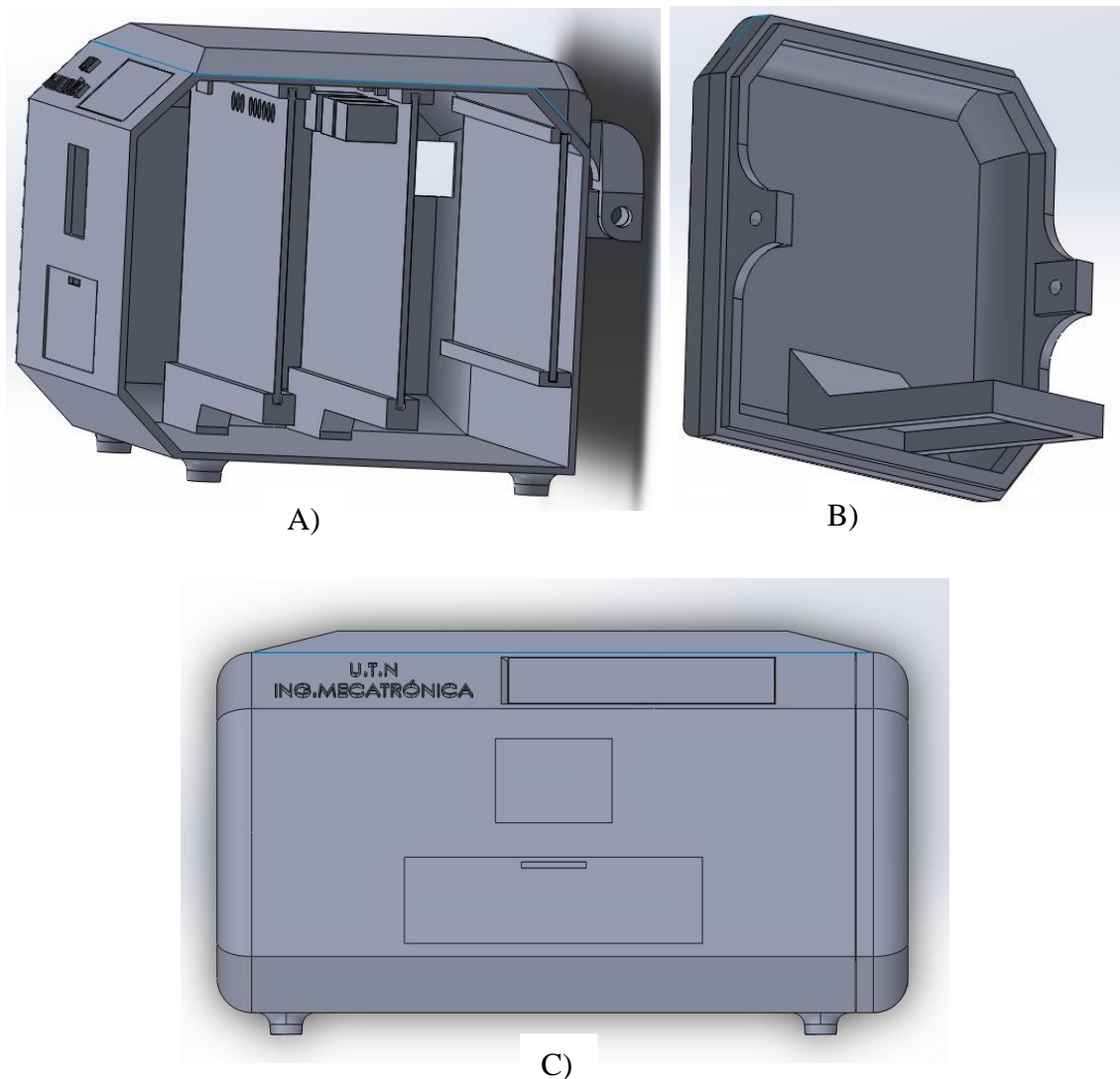


Figura 10. A) Pieza 1 soporte principal, B) Pieza 2 tapa del soporte, C) Ensamblaje de la estructura.

CAPÍTULO III.

3 PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 Pruebas de funcionamiento de sensores en protoboard

Para la construcción del dispositivo es esencial realizar pruebas previas de los sensores, así como también del microcontrolador con el objetivo de identificar posibles fallas y determinar su correcto funcionamiento.

3.1.1 Pruebas de funcionamiento del sensor pH

Se desarrollo el código para la adquisición de datos de pH, se tomó una muestra del líquido de almacenamiento del sensor. Las pruebas realizadas demostraron la correcta adquisición de información del soluble, apreciándose la información en la pantalla LCD y en el ordenador como se muestra en la figura 11.

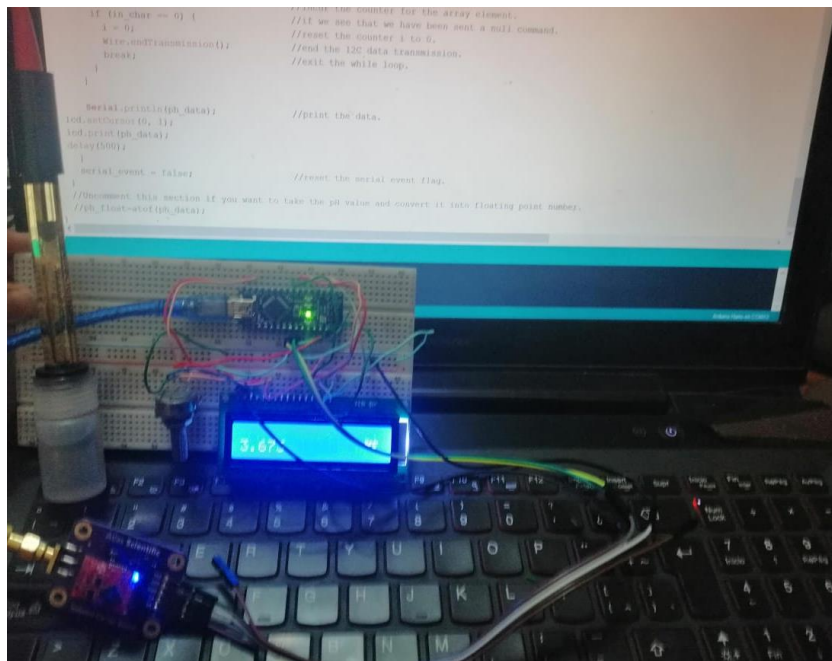


Figura 11. Prueba de funcionamiento del sensor pH.

3.1.2 Prueba de funcionamiento del sensor de temperatura

Se realizó el algoritmo para el sensor de temperatura y su funcionamiento se comprobó en un vaso que contenía agua potable a temperatura ambiente como se observa en la figura 12, los resultados se visualizaron en el monitor serial de Arduino.

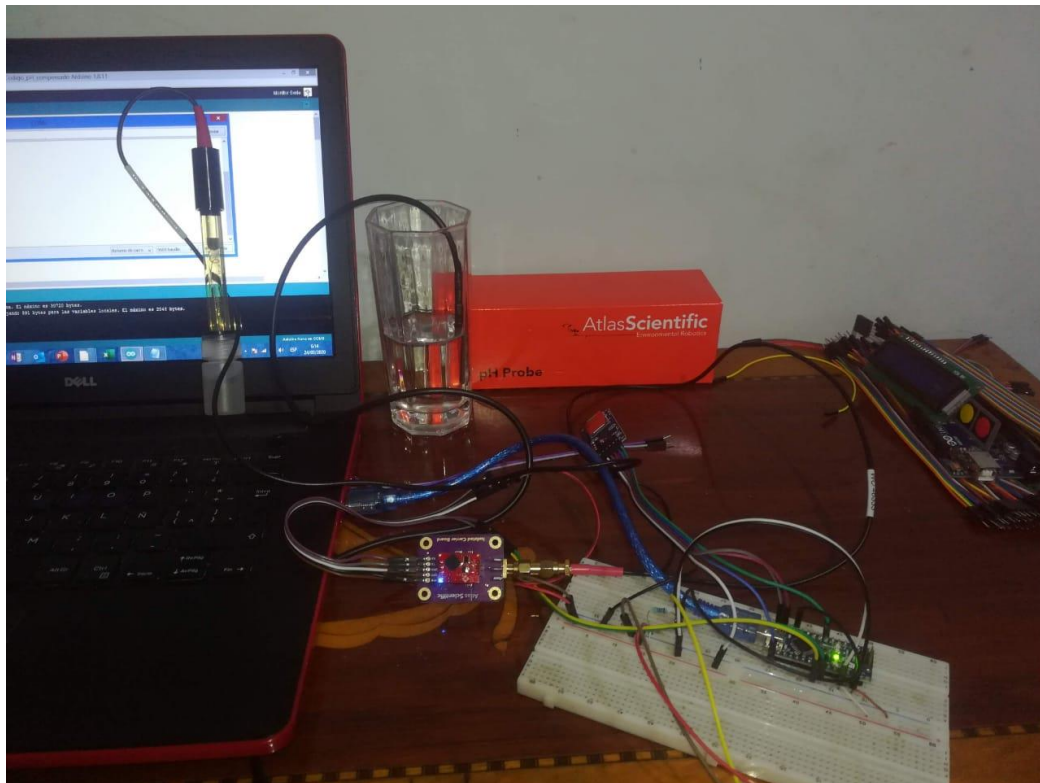


Figura 12. Pruebas de funcionamiento del sensor de temperatura.

3.2 Placa de conexión

Una vez realizadas las pruebas mencionadas en los epígrafes anteriores de este capítulo, se procedió a diseñar la placa del circuito impreso (PCB) como se muestra en la figura 13.

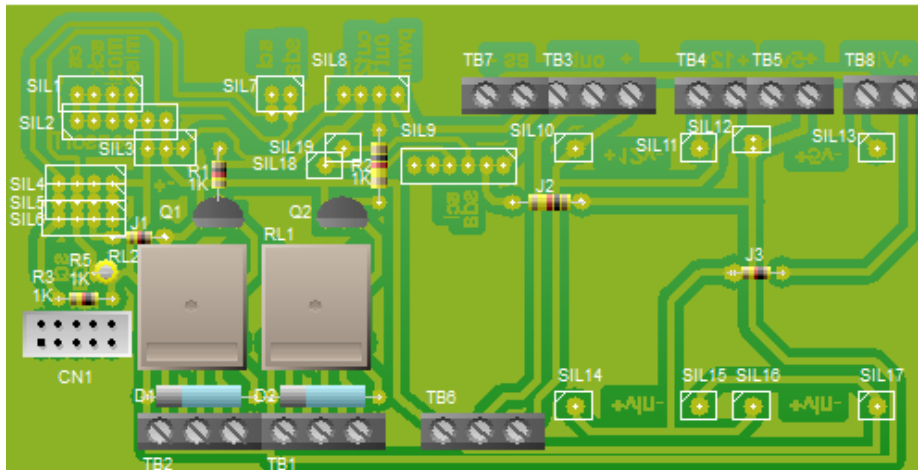


Figura 13. Placa PCB

3.3 Dispositivo final

Se procede al ensamblaje del dispositivo como se muestra en los anexos 1 y 2. Este sistema cuenta con un sensor pH I2C de Atlas Scientific, pantalla oled 128x64 I2C, modulo I2C RTC Ds3231, módulo lector de memoria microSD v0.9b, teclado de membrana 4x1, módulo conversor de voltaje a corriente MOD-V2C, relés. Además, el dispositivo está cubierto por una carcasa de polímero PLA, el cual brinda protección y soporte a los elementos.

El software de este dispositivo proporciona una pantalla inicial con dos opciones, la primera opción direcciona al menú de configuración, en el cual se tiene: configuración de lecturas, alarmas y calibración, la segunda se usa para la toma de lecturas manuales.

3.4 Pruebas de funcionamiento

La verificación de las pruebas de funcionamiento del sistema de medición y adquisición de datos del potencial de hidrógeno, se realizaron en varias etapas; calibración del sensor, tomas

autónomas de lecturas en periodos configurables, almacenamiento de datos, salidas de alarma y señal analógica 4 a 20 mA.

3.4.1 Calibración del sensor

Para la verificación se procedió a la toma de lecturas de las soluciones de calibración (7.00, 4.00, 10.00) los resultados obtenidos por cada solución se observan en la tabla 5, tabla 6 y tabla 7, respectivamente.

Tabla 6. Valores de medición pH solución 4.00

N° muestra	Valor de pH real	Temperatura °C	Valor de pH medido	Error absoluto	Error relativo
1	4.00	26.82	3.95	0.05	1.25%
2	4.00	26.30	3.96	0.04	1%
3	4.00	27.13	3.93	0.07	1.75%
4	4.00	27.21	4.07	0.07	1.75%
5	4.00	26.91	3.95	0.05	1.25%
6	4.00	27.15	4.04	0.04	1%
7	4.00	27.94	4.04	0.04	1%
8	4.00	28.01	4.01	0.01	0.25%
9	4.00	28.26	4.03	0.03	0.75%
10	4.00	28.32	4.03	0.03	0.75%
PROMEDIO				0.043	1.08%

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 6 se puede observar el valor de pH real, valores de las mediciones obtenidas, temperatura en °C, cálculos de los errores (absolutos / relativos) y promedio de estos. En el

error relativo se obtiene un promedio de 0.375, esto quiere decir que el valor medido es cercano al valor real, por lo tanto, es aceptable.

Tabla 7. Valores de medición pH solución 7.00

N° muestra	Valor de pH real	Temperatura °C	Valor de pH medido	Error absoluto	Error relativo
1	7.00	26.31	7.11	0.11	1.57%
2	7.00	26.42	7.08	0.08	1.14%
3	7.00	26.33	6.88	0.12	1.71%
4	7.00	26.87	6.92	0.08	1.14%
5	7.00	26.95	7.01	0.01	0.14%
6	7.00	27.12	7.01	0.01	0.14%
7	7.00	26.98	7.00	0.00	0.00%
8	7.00	27.01	6.91	0.09	1.29%
9	7.00	27.15	6.89	0.11	1.57%
10	7.00	27.36	6.88	0.12	1.71%
PROMEDIO				0.073	1.04%

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 7 se observa los valores medidos de la solución 7.00, donde el error relativo promedio es de 0.215, el cual es admisible y da como resultado un aproximado al valor real.

Tabla 8. Valores de medición pH solución 10.00

N° muestra	Valor de pH real	Temperatura °C	Valor de pH medido	Error absoluto	Error relativo
1	10.00	27.35	10.13	0.13	1.3%
2	10.00	27.46	10.11	0.11	1.1%
3	10.00	27.21	10.07	0.07	0.70%

4	10.00	27.43	10.09	0.09	0.90%
5	10.00	27.08	10.06	0.06	0.60%
6	10.00	27.17	9.94	0.06	0.60%
7	10.00	27.33	9.98	0.02	0.20%
8	10.00	26.91	9.98	0.02	0.20%
9	10.00	26.99	9.87	0.13	1.3%
10	10.00	27.23	10.06	0.06	0.60%
PROMEDIO				0.075	0.75%

Fuente: Autoría propia.

Se realizó mediciones de la solución de calibración de 10.00 y se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 8, como se puede observar el promedio del error relativo es de 0.20 un promedio bajo, eso quiere decir que, al medir valores altos de pH el porcentaje de error sigue siendo aceptable y las lecturas no se alejan de los valores reales.

3.4.2 Lecturas autónomas y almacenamiento de datos

Se configuro el sistema para que realice la medición de manera autónoma en un periodo de 4 horas, el registro de las lecturas se almacena en un documento cuya extensión de archivo es .txt.

Tabla 9. Registro de datos en microSD

N° muestra	Temperatura °C	pH	Fecha	Hora
1	16.77	7.49	01/12/2020	0:01:09
2	16.07	7.55	01/12/2020	4:01:09
3	16.59	7.34	01/12/2020	8:01:09
4	16.20	7.36	01/12/2020	12:01:09

5	15.64	7.40	01/12/2020	16:01:09
6	15.46	7.44	01/12/2020	20:01:09
7	15.90	7.47	02/12/2020	0:01:09
8	16.06	7.48	02/12/2020	4:01:09
9	16.04	7.50	02/12/2020	8:01:09
10	15.95	7.55	02/12/2020	12:01:09
11	15.61	7.60	02/12/2020	16:01:09
12	15.52	7.63	02/12/2020	20:01:09
13	16.07	7.64	03/12/2020	0:01:09
14	16.06	7.61	03/12/2020	4:01:09
15	16.07	7.81	03/12/2020	8:01:09
16	16.00	7.81	03/12/2020	9:32:26
17	15.77	7.82	03/12/2020	9:48:11
18	15.63	7.78	03/12/2020	10:02:03

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 9 se puede visualizar un registro, el cual presenta los datos obtenidos como son: fecha, hora, temperatura y pH, las cuales fueron tomadas durante tres días en el periodo establecido, para este experimento se utilizó agua potable, las lecturas autónomas se realizaron desde la fecha 01/12/2020 hasta 03/12/2020, por lo cual se obtuvo un registro de 15 mediciones, las tres restantes se realizaron de forma manual, comprobando de esta forma que el almacenamiento funciona correctamente. Ver anexo 6.

3.4.3 Salidas de alarma

Las salidas de alarma de rango mínimo y máximo se configuro en 6.00 y 8.00 respectivamente, para la verificación se utiliza las soluciones de calibración en dos puntos (4.00 y 10.00).

3.4.3.1 Alarma de rango Mínimo

Para comprobar su funcionamiento se utilizó las soluciones de calibración (4.00 y 7.00), al realizar la medición con la solución 7.00 las lecturas se toman y almacenan normalmente debido a que este líquido está dentro del intervalo aceptable, de la misma forma se procedió a medir la solución 4.00, sin embargo, con esta solución el contacto del relé cambia de normalmente abierto a normalmente cerrado, además se visualiza en la pantalla oled un mensaje de alerta.

3.4.3.2 Alarma de rango máximo

Las pruebas de funcionamiento del rango máximo se utilizó la solución de calibración 10.00, se realiza la medición de este líquido, y como resultado el relé que se encuentra en normalmente abierto cambia a normalmente cerrado, mostrando en la pantalla oled un mensaje de alerta.

3.4.4 Señal analógica de 4 a 20 mA

Se verificó la salida de la señal analógica mediante valores de la escala de pH de 0 a 14, los cuales fueron ingresados por teclado, y con el uso de un multímetro se pudo medir el resultado de la salida del módulo conversor.

Tabla 10. Resultados de salida analógica.

N° muestra	pH	Corriente medida (mA)	Corriente teórica (mA)	Error absoluto	Error relativo
1	0	4.00	4.00	0.00	0.00%
2	1	5.15	5.14	0.01	0.19%
3	2	6.27	6.29	0.02	0.32%

4	3	7.43	7.43	0.00	0.00%
5	4	8.59	8.57	0.02	0.23%
6	5	9.66	9.71	0.05	0.51%
7	6	10.84	10.86	0.02	0.18%
8	7	11.98	12.00	0.02	0.17%
9	8	13.13	13.14	0.01	0.08%
10	9	14.27	14.29	0.02	0.14%
11	10	15.44	15.43	0.01	0.07%
12	11	16.58	16.57	0.01	0.06%
13	12	17.72	17.71	0.01	0.06%
14	13	18.84	18.86	0.02	0.10%
15	14	20.00	20.00	0.00	0.00%
PROMEDIO				0.015	0.141%

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 10 se observan los resultados obtenidos de la señal analógica, se realizó un cálculo para determinar el error relativo, con el cual se obtuvo un promedio de 0.141, eso quiere decir que, los datos obtenidos son aceptables, ya que no varían considerablemente con los valores teóricos.

CAPITULO IV.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los requerimientos necesarios para el sistema de medición y adquisición de datos de PH del fotobiorreactor se obtuvieron mediante un estudio de campo realizado a los laboratorios de biotecnología de la Universidad Técnica del Norte, los cuales se utilizaron para el diseño conceptual y de esta forma se desarrolló el dispositivo que cumple con todas las necesidades planteadas.
- En el proceso de desarrollo del sistema de medición y adquisición de datos de pH se seleccionó los componentes mediante la matriz morfológica y el método de ponderación, los cuales resultaron eficientes para obtener un dispositivo funcional en un ambiente de laboratorio.
- Este sistema cuenta con un diseño conceptual, para cumplir con las necesidades planteadas en el epígrafe 2.1; CAD, para el armazón protector de los componentes; electrónico, el cual se encarga de acondicionar los diferentes elementos que intervienen y el de Software para el desarrollo del algoritmo y un HMI.
- Se utilizaron 3 puntos de calibración (*4.00*, *7.00* y *10.00*) a cambio de obtener una mayor precisión y exactitud en toda la escala de pH y como los resultados lo demuestran, el promedio de error relativo es de *0.375%*, *0.215%* y *0.20%* respectivamente, por lo tanto, los valores medidos son cercanos a los reales.

- Las lecturas autónomas, manuales y el almacenamiento de los datos funcionan correctamente, para esta prueba se utilizó agua potable, los datos obtenidos oscilan entre 7.34 y 7.82 de pH con una temperatura variable de 15.90 a 21.33 °C.
- El diseño de este sistema permite conectar otros dispositivos de tipo industrial, dado que tiene una salida analógica estandarizada de 5-0 V a 4-20 mA, también cuenta con dos salidas de alarma con relés los cuales pueden usarse en aplicaciones como la de controlar una bomba, que mediante sustancias pueda estabilizar el pH dependiendo que relé se active si es el máximo o el mínimo.

5.2 Recomendaciones

- Este dispositivo tiene un error relativo de 0.96%, en caso de necesitar mayor exactitud en las mediciones se recomienda desarrollar un filtro digital para disminuir el porcentaje de error, debido a que atenúa el error y amplifica las frecuencias.
- El intervalo de tiempo para realizar la recalibración del dispositivo depende del uso y cuidado que se tenga y también de la exactitud que se requiera para cada aplicación.
- Recomiendo analizar un sistema automatizado que permita mantener los valores de pH en rangos adecuados para que los cultivos de microalgas en fotobiorreactores no se vean afectados.

Bibliografía

- Abraham G. (8 de Abril de 2020). *Atomatización para todos*. Recuperado el 21 de 11 de 2020, de <https://www.automatizacionparatodos.com/sensor-temperatura-ds18b20-arduino/>
- Adrián Rodríguez, Mónica Rodrigues, Octavio Sotomayor. (2019). Hacia una biotecnología sostenible en América Latina y el Caribe: elementos para una visión regional. *Recursos Naturales y Desarrollo*, 1(N° 191), 9-19. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44640/4/S1900161_es.pdf
- Alexis Hernandez Pérez, José Labbe. (2014). Microalgas Cultivos y Beneficios. Chile: Revista de Biología y Oceanografía. doi:S0718-19572014000200001
- Ana María Santos, Yolanda Gonzalez Arechavala, Carlos Matín Sastre. (2014). Uso y aplicaciones potenciales de las microalgas. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
- Arduino. (2020). *Arduino store*. Recuperado el 13 de Octubre de 2020, de https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3?fbclid=IwAR3Hlwvs_PYmnrF1KU_6CDOSAK_1oROHpPD7W7ZVmahIQ1tvHZiFz50j74
- Cua, Elda Rufina May. (2015). Cultivo de la microalga *scenedesmus* sp. en un fotobiorreactor acomplado a un sistema de recuperación de biomasa. Mérida: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Escribano, Emma Lomas. (13 de Junio de 2017). Construir naturaleza. EL empleo de microalgas en la arquitectura sostenible.

Factory, G. (2020). *Geek Factory*. Recuperado el 13 de Octubre de 2020, de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/ds3231-modulo-reloj-en-tiempo-real/>

J. R. Benavente-Valdés, J. C. Montañez, C. N. Aguilar, A. Méndez-Zavala, B. Valdivia. (2015). Tecnología de cultivo de microalgas en fotobiorreactores. Mexico: Universidad Autónoma de Coahuila.

Julián Camilo Cartagena Arévalo, Brian Orlando Malo Malo. (2017). Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la PTAR el salitre a nivel laboratorio. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América.

Luis, L. (18 de Octubre de 2016). *Ingeniería, informática y diseño*. Recuperado el 3 de Marzo de 2021, de <https://www.luisllamas.es/reloj-y-calendario-en-arduino-con-los-rtc-ds1307-y-ds3231/>

María Alexandra Cabrera Cabrera, María Fernanda Pulla Tenemaza. (2014). Línea de base para el aprovechamiento de microalgas de sistemas de tratamiento de agua residual. Cuenca: Universidad de Cuenca.

María Cristina Guamán, Nory Paola Gonzalez. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Ecuador: Corporación de la Investigación Energética.

Mario A. Colorado Gómez, Diego A. Moreno Tirado, Jéssica L. Pérez. (2015). Desarrollo, producción y beneficio ambiental de la producción de microalgas. colombia: Ambiente y Desarrollo. doi:0121-7607(201301)17:32

Navarrete, Paola Vanessa Guerrón. (2015). Relación entre las variables fisicoquímicas y concentración de microalgas en la laguna de Monte Redondo. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.

Scientific, A. (2020). *Atlas Scientific*. Obtenido de <https://atlas-scientific.com/kits/ph-kit/>

ANEXOS

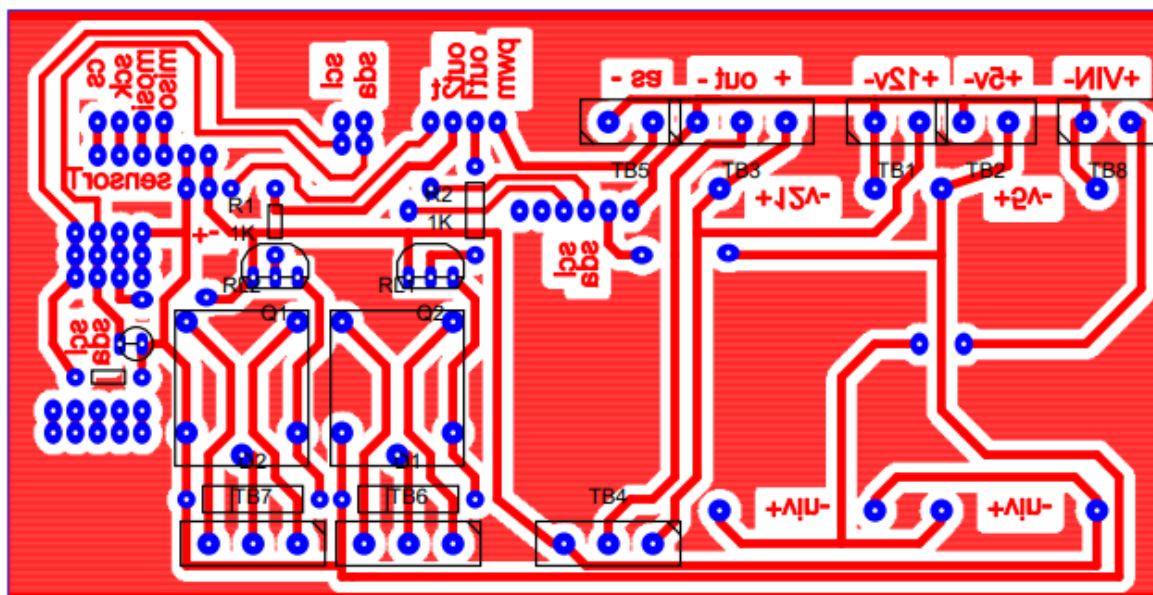
Anexo 1. Dispositivo de medición pH



Anexo 2. Dispositivo en pruebas de funcionamiento



Anexo 3. PCB del sistema de medición



Anexo 4. Descripción del PCB

CÓDIGO	NOMBRE COMERCIAL		DISTANCIA ENTRE PINES (mm)	CANTIDAD DE PINES	DESCRIPCIÓN
SIL1	Conector línea	en	2.5	4	Entrada para comunicación SPI del microcontrolador
SIL2	Conector línea	en	2.5	6	Salida para comunicación SPI con lector de tarjeta SD
SIL3	Conector línea	en	2.5	3	Puerto de conexión para sensor de temperatura digital

CÓDIGO	NOMBRE COMERCIAL		DISTANCIA ENTRE PINES (mm)	CANTIDAD DE PINES	DESCRIPCIÓN
SIL4	Conector línea	en	2.5	4	Entrada I2C para comunicación con el microcontrolador
SIL5	Conector línea	en	2.5	4	Puerto de conexión I2C para pantalla oled 128x64
SIL6	Conector línea	en	2.5	4	Puerto de conexión I2C para módulo medidor de PH
SIL7	Conector línea	en	2.5	2	Entrada de comunicación I2C del microcontrolador
SIL8	Conector línea	en	2.5	4	Conector para lectura y escritura de puertos analógicos y digitales para el microcontrolador
SIL9	Conector línea	en	2.5	6	Módulo RTC DS3231
SIL10	Conector línea	en	2.5	1	+12v LM2596 Módulo A
SIL11	Conector línea	en	2.5	1	GND LM2596 Módulo A
SIL12	Conector línea	en	2.5	1	+5V LM2596 Módulo B
SIL13	Conector línea	en	2.5	1	GND LM2596 Módulo B
SIL14	Conector línea	en	2.5	1	VIN LM2596 Módulo A
SIL15	Conector línea	en	2.5	1	GND LM2596 Módulo A

CÓDIGO	NOMBRE COMERCIAL	DISTANCIA ENTRE PINES (mm)	CANTIDAD DE PINES	DESCRIPCIÓN
SIL16	Conector en línea	2.5	1	VIN LM2596 Módulo B
SIL17	Conector en línea	2.5	1	GND LM2596 Módulo B
SIL18	Conector en línea	2.5	1	Señal SCL para módulo RTC DS3231
SIL19	Conector en línea	2.5	1	Señal SDA para módulo RTC DS3231
CN1	Socket para header	2.5	10	Teclado Membrana
TB1	Bloque terminal o bornera	5	3	Conmutador de relé B
TB2	Bloque terminal o bornera	5	3	Conmutador de relé A
TB3	Bloque terminal o bornera	5	3	Conector de salida de módulo acondicionador de señal
TB4	Bloque terminal o bornera	5	2	Puerto de alimentación 12v para acondicionador
TB5	Bloque terminal o bornera	5	2	Puerto de alimentación 5v para electrónica del microcontrolador y módulos, alimentación general.
TB6	Bloque terminal o bornera	5	3	Salida de señal del módulo acondicionador

CÓDIGO	NOMBRE COMERCIAL	DISTANCIA ENTRE PINES (mm)	CANTIDAD DE PINES	DESCRIPCIÓN
TB7	Bloque terminal o bornera	5	2	Señal Analógica para el módulo acondicionador de señal.
TB8	Bloque terminal o bornera	5	2	Voltaje DC de entrada, 40v max.
R1	Resistencia eléctrica ¼ w	7.6	2	1k, acopla el pin del microcontrolador con la base del transistor.
R2	Resistencia eléctrica ¼ w	10.2	2	1k, acopla el pin del microcontrolador con la base del transistor.
R3	Resistencia eléctrica ¼ w	7.6	2	1k, optimización de ruido en puertos I2C.
R5	Resistencia eléctrica ¼ w	2.5	2	1k, optimización de ruido en puertos I2C.
D1	Diodo de uso general	15.2	2	Diodo rectificador 1N4007.
D2	Diodo de uso general	15.2	2	Diodo rectificador 1N4007.
RL1	Relé	N.A.	5	Relé de 5v para uso general conmutado.
RL2	Relé	N.A.	5	Relé de 5v para uso general conmutado.
Q1	Transistor	2.5	3	2N3904 NPN
Q2	Transistor	2.5	3	2N3904 NPN
J1	Jumper	10	2	Puente conector para PCB

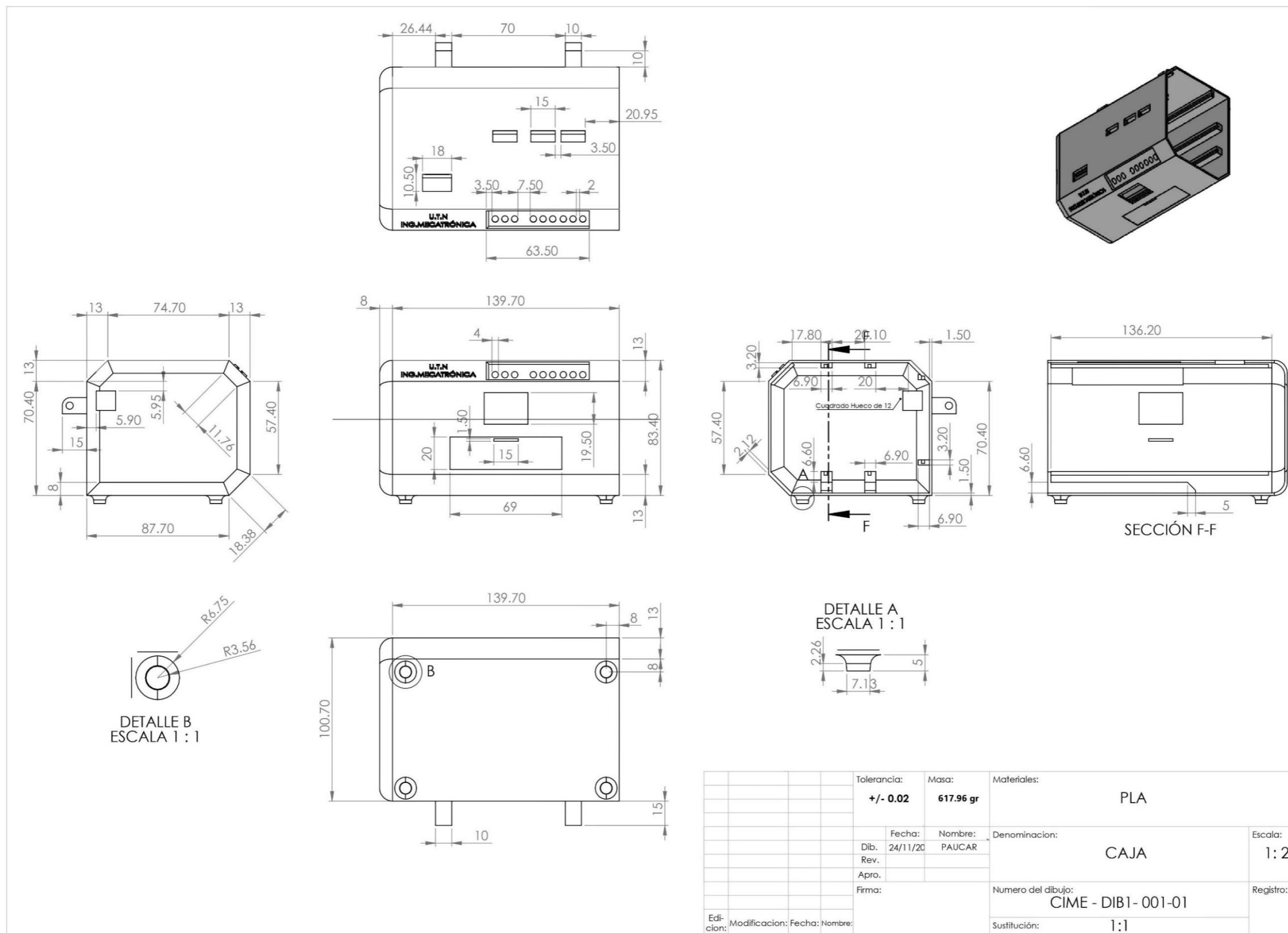
J2	Jumper	10	2	Puente PCB	conector	para
J3	Jumper	10	2	Puente PCB	conector	para

Anexo 5. Resultados almacenados en el documento .txt

temperatura: 16.77 ; pH Compensado: 7.49 ; Fecha: 1/12/2020 0:1:9
 temperatura: 16.07 ; pH Compensado: 7.55 ; Fecha: 1/12/2020 4:1:9
 temperatura: 16.59 ; pH Compensado: 7.34 ; Fecha: 1/12/2020 8:1:9
 temperatura: 16.20 ; pH Compensado: 7.36 ; Fecha: 1/12/2020 12:1:9
 temperatura: 15.64 ; pH Compensado: 7.40 ; Fecha: 1/12/2020 16:1:9
 temperatura: 15.46 ; pH Compensado: 7.44 ; Fecha: 1/12/2020 20:1:9
 temperatura: 15.90 ; pH Compensado: 7.47 ; Fecha: 2/12/2020 0:1:9
 temperatura: 16.06 ; pH Compensado: 7.48 ; Fecha: 2/12/2020 4:1:9
 temperatura: 16.04 ; pH Compensado: 7.50 ; Fecha: 2/12/2020 8:1:9
 temperatura: 15.95 ; pH Compensado: 7.55 ; Fecha: 2/12/2020 12:1:9
 temperatura: 15.61 ; pH Compensado: 7.60 ; Fecha: 2/12/2020 16:1:9
 temperatura: 15.52 ; pH Compensado: 7.63 ; Fecha: 2/12/2020 20:1:9
 temperatura: 16.07 ; pH Compensado: 7.64 ; Fecha: 3/12/2020 0:1:9
 temperatura: 16.06 ; pH Compensado: 7.61 ; Fecha: 3/12/2020 4:1:9
 temperatura: 16.07 ; pH Compensado: 7.81 ; Fecha: 3/12/2020 8:1:9
 temperatura: 16.07 ; pH Compensado: 7.81 ; Fecha: 3/12/2020 9:32:26
 temperatura: 16.07 ; pH Compensado: 7.81 ; Fecha: 3/12/2020 9:48:11
 temperatura: 16.07 ; pH Compensado: 7.81 ; Fecha: 3/12/2020 10:2:3
 temperatura: 16.00 ; pH Compensado: 7.81 ; Fecha: 3/2/2020 12:1:9
 temperatura: 15.77 ; pH Compensado: 7.82 ; Fecha: 3/2/2020 16:1:9
 temperatura: 15.63 ; pH Compensado: 7.88 ; Fecha: 3/2/2020 20:1:9
 temperatura: 15.98 ; pH Compensado: 7.87 ; Fecha: 4/3/2020 0:0:9
 temperatura: 15.99 ; pH Compensado: 7.88 ; Fecha: 4/3/2020 4:1:9
 temperatura: 15.98 ; pH Compensado: 7.90 ; Fecha: 4/3/2020 8:1:9
 temperatura: 15.66 ; pH Compensado: 7.91 ; Fecha: 4/3/2020 12:1:9
 temperatura: 15.76 ; pH Compensado: 7.91 ; Fecha: 4/3/2020 16:1:9
 temperatura: 15.77 ; pH Compensado: 7.90 ; Fecha: 4/3/2020 20:1:9
 temperatura: 16.22 ; pH Compensado: 7.93 ; Fecha: 5/3/2020 0:0:9
 temperatura: 16.50 ; pH Compensado: 7.91 ; Fecha: 5/3/2020 4:1:9
 temperatura: 16.41 ; pH Compensado: 7.92 ; Fecha: 5/3/2020 8:1:9
 temperatura: 16.24 ; pH Compensado: 7.98 ; Fecha: 5/3/2020 12:1:9
 temperatura: 16.00 ; pH Compensado: 7.97 ; Fecha: 5/3/2020 16:1:9
 temperatura: 15.98 ; pH Compensado: 7.99 ; Fecha: 5/3/2020 20:1:9
 temperatura: 16.20 ; pH Compensado: 8.03 ; Fecha: 6/3/2020 0:0:9
 temperatura: 16.19 ; pH Compensado: 8.12 ; Fecha: 6/3/2020 4:1:9

temperatura: 15.81 ; pH Compensado: 8.23 ; Fecha: 6/3/2020 8:1:9
temperatura: 15.66 ; pH Compensado: 8.24 ; Fecha: 6/3/2020 12:1:9
temperatura: 15.48 ; pH Compensado: 8.26 ; Fecha: 6/3/2020 16:1:9
temperatura: 15.14 ; pH Compensado: 8.30 ; Fecha: 6/3/2020 20:1:9
temperatura: 15.66 ; pH Compensado: 8.35 ; Fecha: 7/3/2020 0:0:9
temperatura: 15.35 ; pH Compensado: 8.37 ; Fecha: 7/3/2020 4:1:9
temperatura: 15.13 ; pH Compensado: 8.38 ; Fecha: 7/3/2020 8:1:9
temperatura: 14.81 ; pH Compensado: 8.41 ; Fecha: 7/3/2020 12:1:9
temperatura: 14.60 ; pH Compensado: 8.45 ; Fecha: 7/3/2020 16:1:9
temperatura: 14.46 ; pH Compensado: 8.44 ; Fecha: 7/3/2020 20:1:9
temperatura: 15.05 ; pH Compensado: 8.43 ; Fecha: 8/3/2020 0:0:9
temperatura: 15.44 ; pH Compensado: 8.45 ; Fecha: 8/3/2020 4:1:9
temperatura: 15.41 ; pH Compensado: 8.44 ; Fecha: 8/3/2020 8:1:9
temperatura: 15.35 ; pH Compensado: 8.47 ; Fecha: 8/3/2020 12:1:9
temperatura: 15.10 ; pH Compensado: 8.50 ; Fecha: 8/3/2020 16:1:9
temperatura: 15.48 ; pH Compensado: 8.50 ; Fecha: 8/3/2020 20:1:9
temperatura: 15.14 ; pH Compensado: 8.51 ; Fecha: 9/3/2020 0:0:9
temperatura: 15.31 ; pH Compensado: 8.52 ; Fecha: 9/3/2020 4:1:9
temperatura: 15.27 ; pH Compensado: 8.54 ; Fecha: 9/3/2020 8:1:9
temperatura: 15.32 ; pH Compensado: 8.56 ; Fecha: 9/3/2020 12:1:9
temperatura: 15.14 ; pH Compensado: 8.60 ; Fecha: 9/3/2020 16:1:9
temperatura: 15.09 ; pH Compensado: 8.58 ; Fecha: 9/3/2020 20:1:9
temperatura: 15.30 ; pH Compensado: 8.59 ; Fecha: 10/3/2020 0:0:9
temperatura: 15.54 ; pH Compensado: 8.60 ; Fecha: 10/3/2020 4:1:9
temperatura: 15.54 ; pH Compensado: 8.61 ; Fecha: 10/3/2020 8:1:9
temperatura: 15.45 ; pH Compensado: 8.63 ; Fecha: 10/3/2020 12:1:9
temperatura: 15.10 ; pH Compensado: 8.64 ; Fecha: 10/3/2020 16:1:9
temperatura: 14.89 ; pH Compensado: 8.65 ; Fecha: 10/3/2020 20:1:9
temperatura: 15.11 ; pH Compensado: 8.66 ; Fecha: 11/3/2020 0:0:9
temperatura: 15.45 ; pH Compensado: 8.67 ; Fecha: 11/3/2020 4:1:9
temperatura: 15.57 ; pH Compensado: 8.64 ; Fecha: 11/3/2020 8:1:9

Anexo 7. Planos mecánicos caja

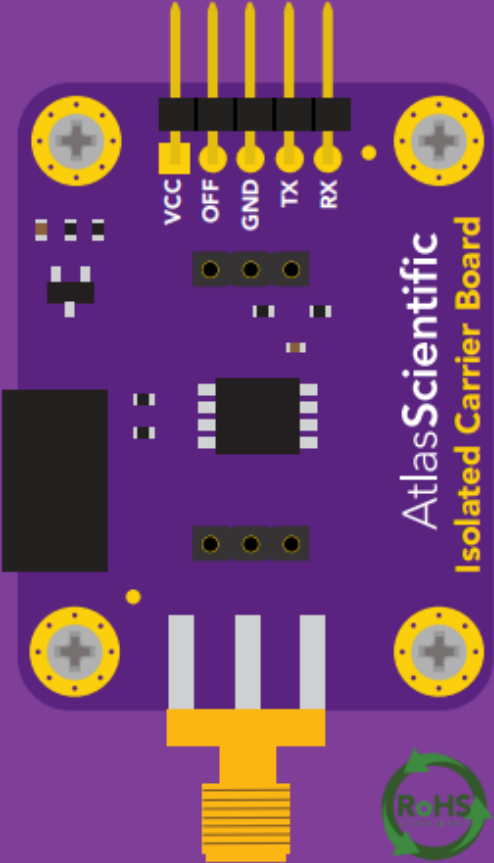


Anexo 8. Datasheet del tablero portador eléctricamente aislado

Electrically Isolated

EZO™ Carrier Board Gen 2

Data input	UART or I²C
Voltage input	3.0V – 5.0V
Probe connector	Female SMA
Current consumption	5V 28 mA 3.3V 22 mA
Power saving mode (OFF pin)	2.6mA



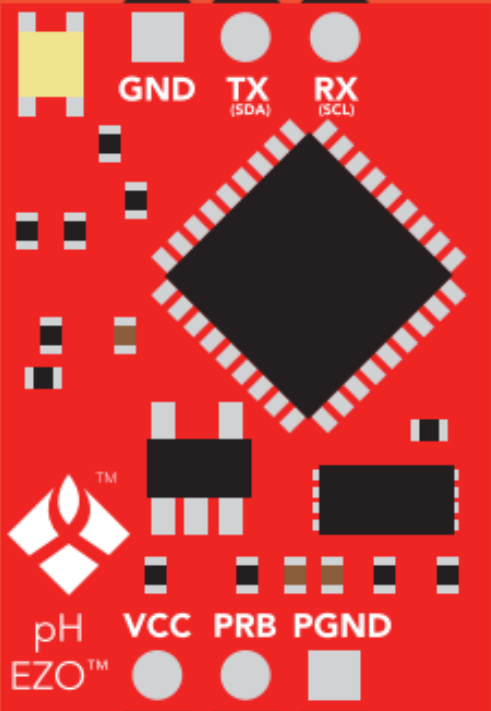
AtlasScientific
Isolated Carrier Board


RoHS

Anexo 9. Datasheet del acondicionador

EZO-pH™

Embedded pH Circuit

Reads	pH	
Range	.001 – 14.000	
Resolution	.001	
Accuracy	+/- 0.002	
Response time	1 reading per sec	
Supported probes	Any type & brand	
Calibration	1, 2, 3 point	
Temp compensation	Yes	
Data protocol	UART & I ² C	
Default I ² C address	99 (0x63)	
Operating voltage	3.3V – 5V	
Data format	ASCII	




PATENT PROTECTED

Written by Jordan Press
Designed by Noah Press

This is an evolving document, check back for updates.

Anexo 10. Datasheet del sensor pH

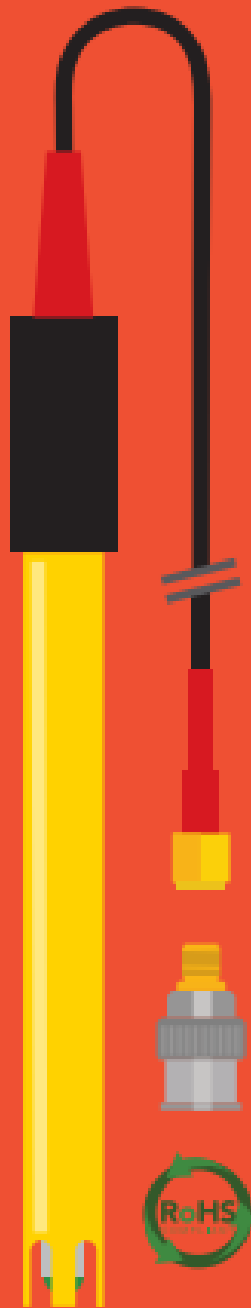

AtlasScientific[™]
 Environmental Robotics
V 4.3
Revised 11/20

Gen 2

Lab Grade pH Probe

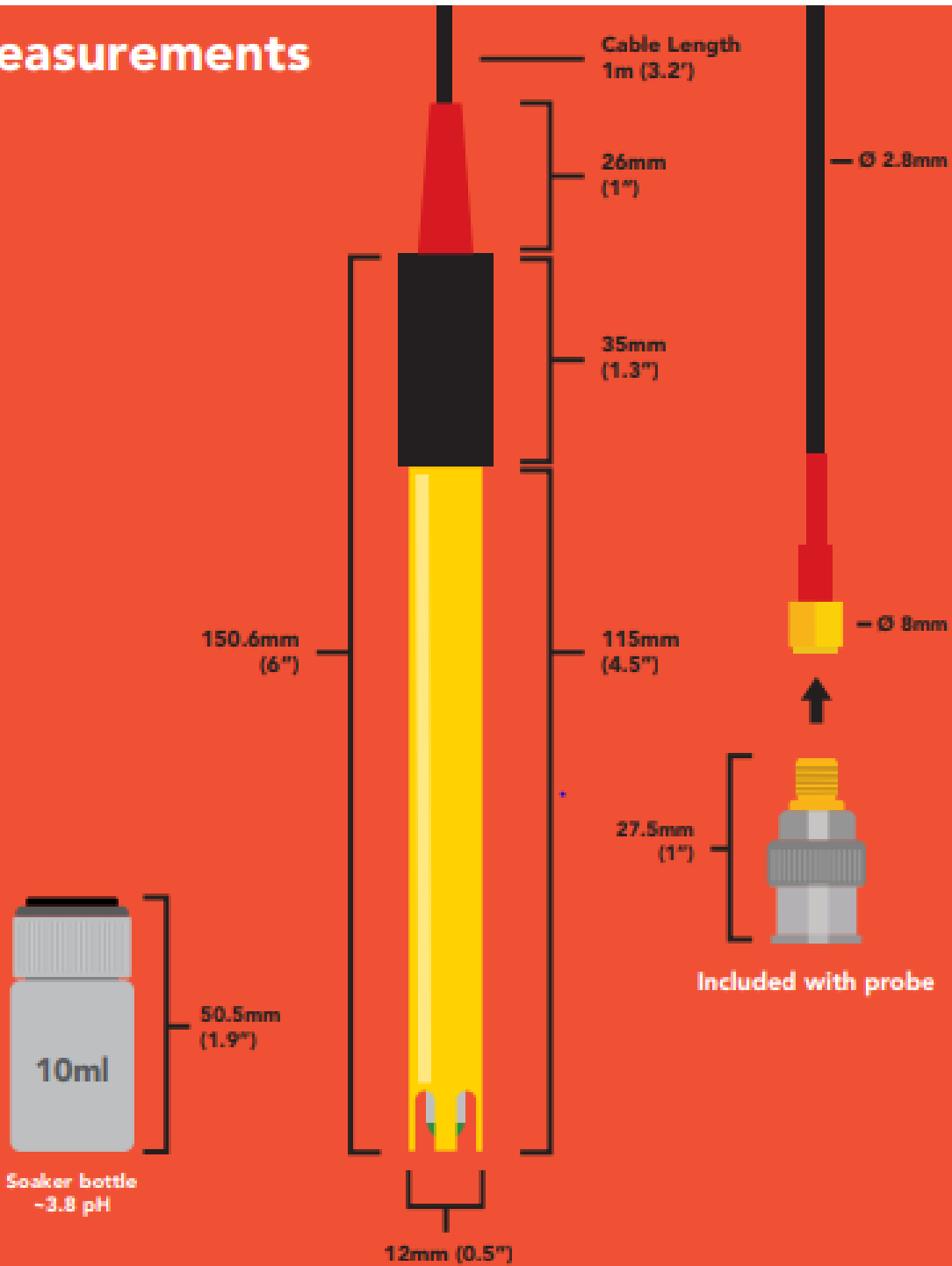
**Double junction silver / silver chloride
with EXR Glass**

Reads	pH
Range	0 – 14
Resolution	+/- 0.001
Accuracy	+/- 0.002
Response time	95% in 1s
Temperature range °C	-5 – 99 °C
Max pressure	100 PSI
Max depth	70m (230 ft)
Connector	Male SMA / Male BNC
Cable length	1 meter
Internal temperature sensor	No
Time before recalibration	~1 Year
Life expectancy	~2.5 Years +



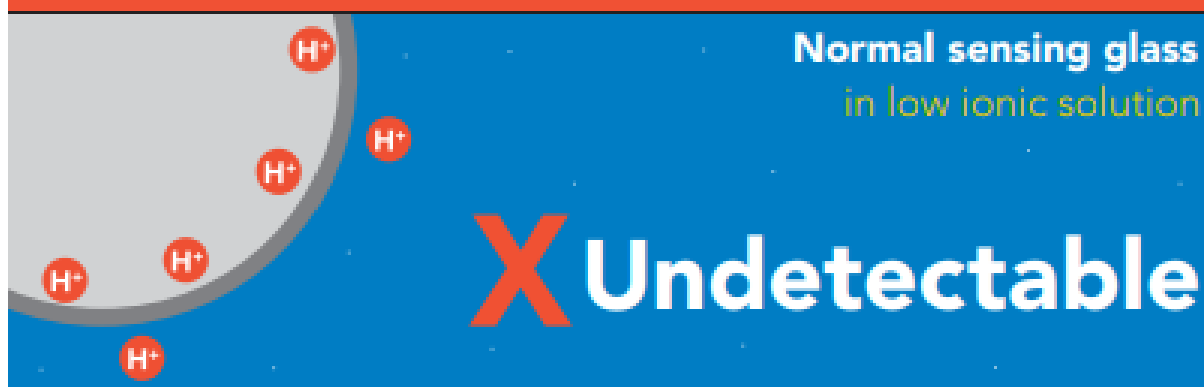
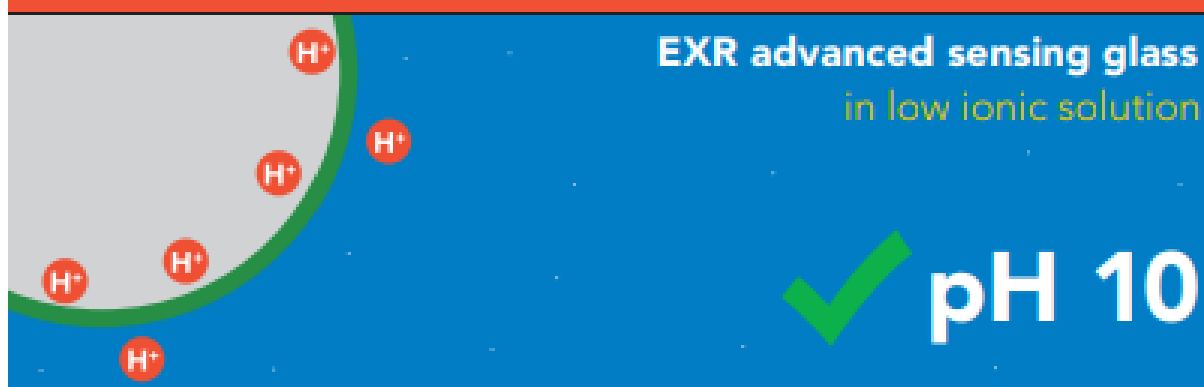
RoHS
RECYCLED

Measurements



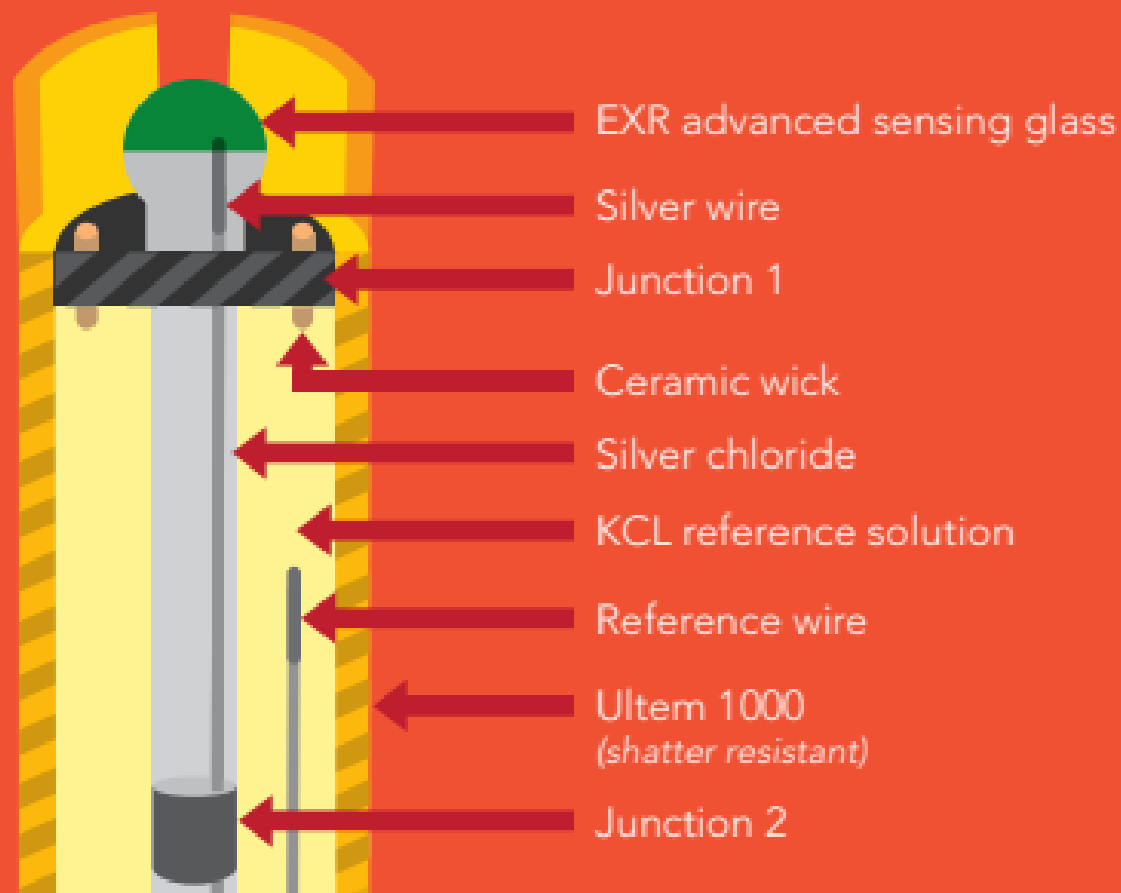
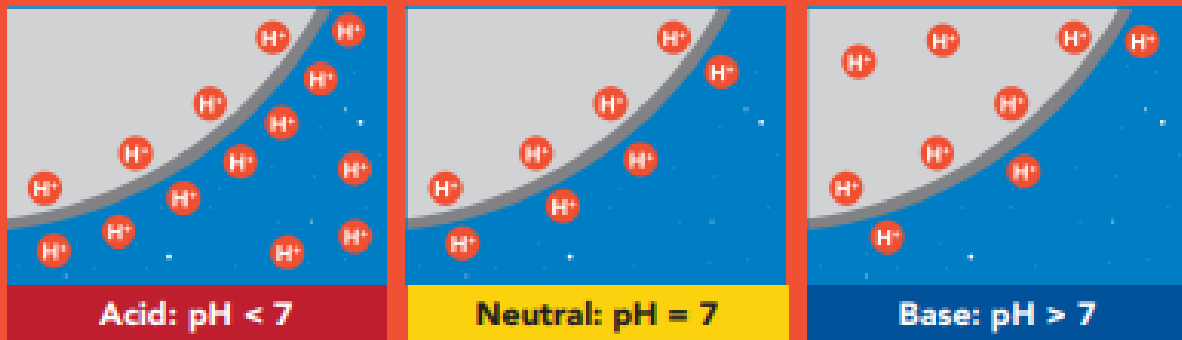
EXR advanced sensing glass

Our newest lab grade pH probes have EXR advanced sensing glass, located at the very tip of the glass bulb. The EXR advanced sensing glass has been specially formulated; allowing for faster reactions and more accurate readings in low ionic solutions.



Operating principle

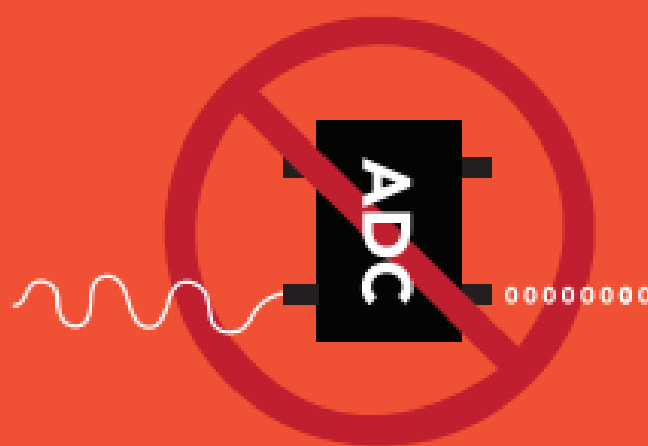
A pH (*potential of Hydrogen*) probe measures the hydrogen ion activity in a liquid. At the tip of a pH probe is a glass membrane. This glass membrane permits hydrogen ions from the liquid being measured to diffuse into the outer layer of the glass, while larger ions remain in the solution. The difference in the concentration of hydrogen ions (outside the probe vs. inside the probe) creates a VERY small current. This current is proportional to the concentration of hydrogen ions in the liquid being measured.



A pH electrode is a passive device that detects a current generated from hydrogen ion activity. This current (which can be positive or negative) is very weak and cannot be detected with a multimeter, or an analog to digital converter. This weak electrical signal can easily be disrupted and care should be taken to only use proper connectors and cables.



Result will **always** read zero.



Result will **always** read zero.

The current that is generated from the hydrogen ion activity is the reciprocal of that activity and can be predicted using this equation:

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln(\alpha_{H^+}) = E^0 - \frac{2.303RT}{F} pH$$

Where **R** is the ideal gas constant.

T is the temperature in Kelvin.

F is the Faraday constant.

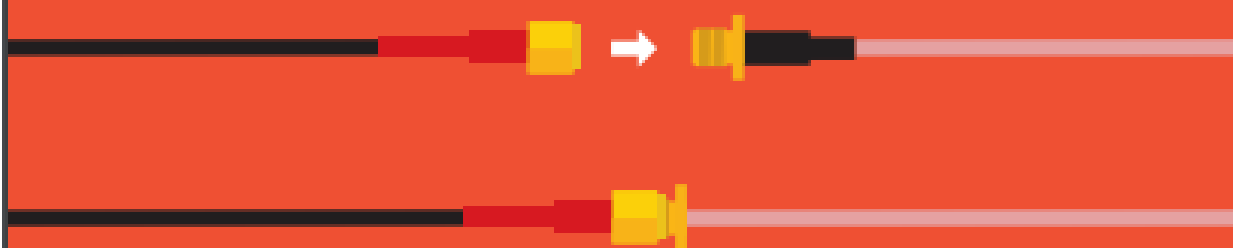
Because a pH probe is a passive device it can pick up voltages that are transmitted through the solution being measured. This will result in incorrect readings and will slowly damage the pH probe over time. In this instance, proper isolation is required.

Extending the probe cable length

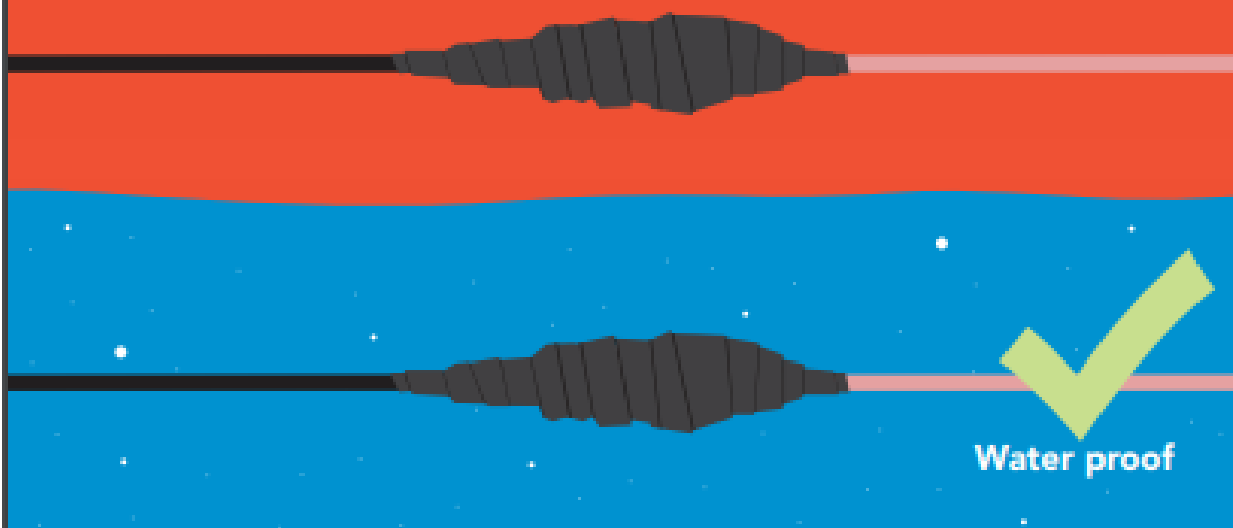
You can extend the cable to greater than 100 meters with no loss of signal. Atlas Scientific has tested up to 300 meters without a problem, however you run the risk of turning your pH probe into an antennae, picking up noise along the length of your cable.

If you want to extend your cable, we recommend that you use proper isolation, such as the **Basic EZO™ Inline Voltage Isolator**, or **Tentacle Shield**. Be sure to calibrate your probe with the extended cable.

Extending a probe cable can be easily done with our **SMA Extension Cables**. Simply connect the SMA end of the probe to the Extension cable, and you are all set.



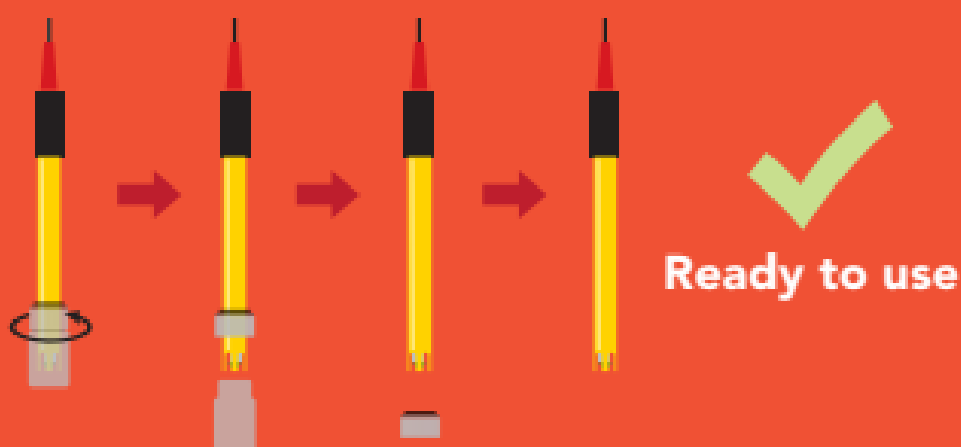
If you need to water proof a SMA connection, we highly recommend using a product like **Coax-Seal** to safely cover and prevent any water damage that may occur.



Helpful operating tips

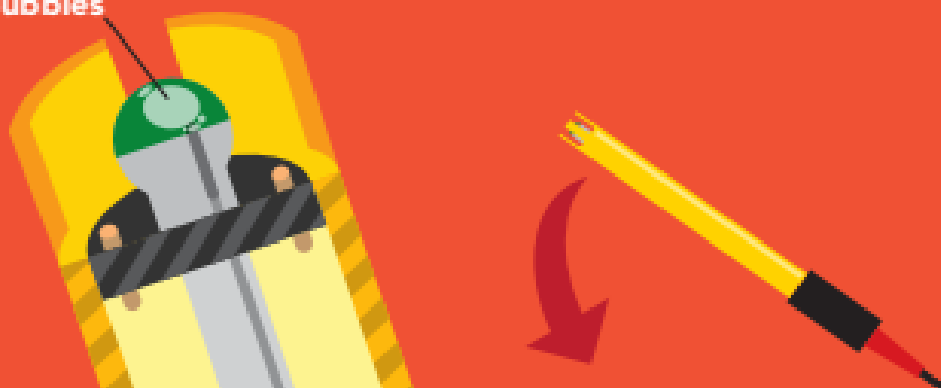
pH probes must stay wet and cannot be allowed to dry out, this is why every pH probe is shipped in a plastic soaker bottle containing pH probe storage solution. The probe should remain in the bottle until it is used. If the probe is used infrequently, the bottle and its solution should be saved and the probe stored inside.

- 1 To remove the soaker bottle from the probe, hold the soaker bottle by the cap and turn the bottle until it separates from the cap; Then slide the cap off.



- 2 During shipment the air bubble in the probes stem may move into the bulb area. If bubbles are seen in the bulb area, hold the probe by its top cap and shake downward as done with a clinical thermometer.

Bubbles



- 3** Vigorously stir the probe in the sample, calibration solution, or rinse solution. This action will bring solution to the probes surface quicker and improve the speed of response.



Response time

Probe cleaning

Coating of the pH bulb can lead to erroneous readings including shortened span (slope). The type of coating will determine the cleaning technique. Soft coatings can be removed by vigorous stirring or by the use of a squirt bottle. Organic chemical, or hard coatings, should be chemically removed. A light bleach solution or even a 5–10% hydrochloric acid (HCl) soak for a few minutes, often removes many coatings. If cleaning does not restore performance, reconditioning may be tried. **Do not use a brush or abrasive materials on the pH probe.**



How often do you need to recalibrate a pH probe?

Because every use case is different, there is no set schedule for recalibration.

If you are using your probe in a fish tank, a hydroponic system or any environment that has generally weak levels of acids and bases you will only need to recalibrate your probe once per year for the first two years. After that every ~six months.

If you are using the pH probe in batch chemical manufacturing, industrial process, or in a solution that is known to have strong acids and bases, then calibration should be done monthly or in extreme cases after each batch.

Probe reconditioning

When reconditioning your pH probe is required due to aging, we recommend you use the **Atlas Scientific pH probe reconditioning kit**.



Anexo 11. Tabla de calibración de las soluciones dadas por el fabricante

Solución pH 10.00					
°C	°F	pH	°C	°F	pH
5	41	10.25	30	86	9.96
10	50	10.18	35	95	9.92
15	59	10.12	40	104	9.88
20	68	10.06	45	113	9.85
25	77	10.00	50	122	9.82

Solución pH 7.00					
°C	°F	pH	°C	°F	pH
5	41	7.09	30	86	6.99
10	50	7.06	35	95	6.98
15	59	7.04	40	104	6.97
20	68	7.04	45	113	6.97
25	77	7.00	50	122	6.96

Solución pH 4.00					
°C	°F	pH	°C	°F	pH
5	41	4.00	30	86	4.01
10	50	4.00	35	95	4.02
15	59	4.00	40	104	4.03
20	68	4.00	45	113	4.04
25	77	4.00	50	122	4.05

Anexo 12. Datasheet del sensor de temperatura DS18B20

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

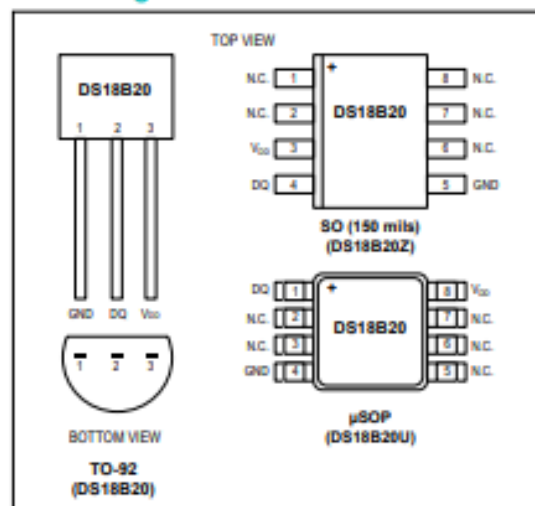
Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
 - $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Accuracy from -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μSOP , and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground-0.5V to +6.0V
 Operating Temperature Range..... -55°C to +125°C

Storage Temperature Range.....-55°C to +125°C
 Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC
 J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in Figure 1. Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DD} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

Anexo 13. Datasheet del módulo RTC DS3231

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

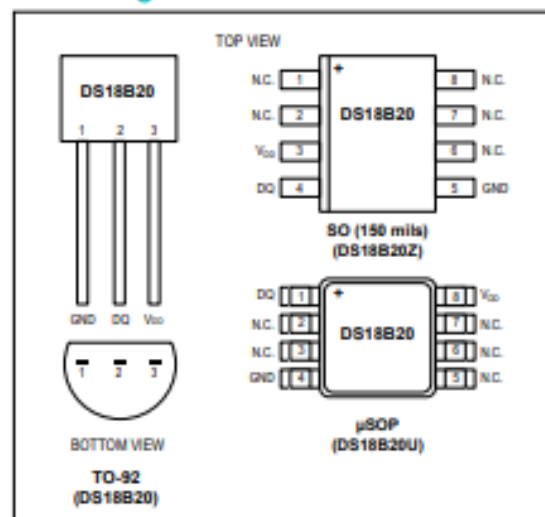
Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
 - $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Accuracy from -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μSOP , and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



Ordering Information appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground-0.5V to +6.0V
 Operating Temperature Range.....-55°C to +125°C

Storage Temperature Range.....-55°C to +125°C
 Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC
 J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DD} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

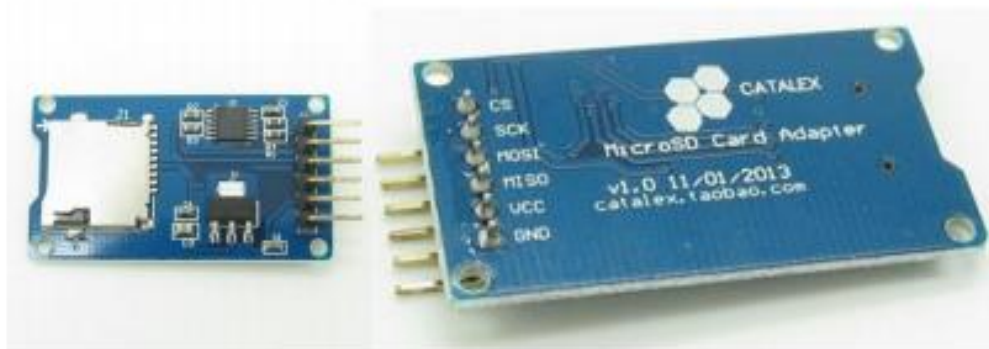
Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

Anexo 14. Datasheet Modulo lector de microSD

eBay Search:

Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino



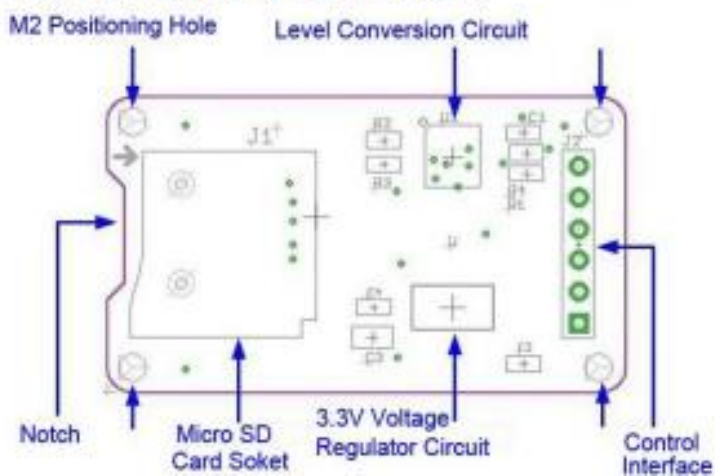
Description

- The module (MicroSD Card Adapter) is a Micro SD card reader module for reading and writing through the file system and the SPI interface driver, SCM system can be completed within a file MicroSD card
- Support Micro SD Card, Micro SDHC card (high speed card)
- Level conversion circuit board that can interface level is 5V or 3.3V
- Power supply is 4.5V ~ 5.5V, 3.3V voltage regulator circuit board
- Communications interface is a standard SPI interface
- 4 M2 screws positioning holes for easy installation
- Control Interface: A total of six pins (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND to ground, VCC is the power supply, MISO, MOSI, SCK for SPI bus, CS is the chip select signal pin;
- 3.3V regulator circuit: LDO regulator output 3.3V for level conversion chip, Micro SD card supply;
- Level conversion circuit: Micro SD card to signal the direction of converts 3.3V, MicroSD card interface to control the direction of the MISO signal is also converted to 3.3V, general AVR microcontroller systems can read the signal;
- Micro SD card connector: self bomb deck, easy card insertion.
- Positioning holes: 4 M2 screws positioning holes with a diameter of 2.2mm, so the module is easy to install positioning, to achieve inter-module combination.

Interface Parameters:


Items	Min	Typical	Max	Unit
Power Voltage VCC	4.5	5	5.5	V
Current	0.2	80	200	<u>mA</u>
Interface Electrical Potential	3.3 or 5			V
Support Card Type	Micro SD Card(<=2G), <u>Mirco</u> SDHC Card(<=32G)			—
Size	42X24X12			mm
Weight	5			g

Mirco SD Card Interface Module:



Anexo 15. Datasheet del relé

SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	SRD
---	---------------	-----



1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
 - Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.
(Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

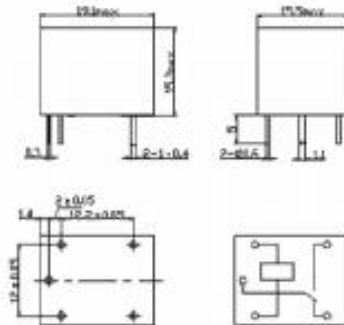
3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil	Contact form
SRD	03 05 06 09 12 24 48VDC	S: Sealed type	L: 0.36W	A: 1 form A
		F: Flux free type	F: 0.45W	B: 1 form B C: 1 form C

4. RATING

CCC	FILE NUMBER: CQC03001003729	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER: CQC03001003731	10A/250VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R50056114	10A/250VAC 30VDC

5. DIMENSION (unit:mm) DRILLING (unit:mm) WIRING DIAGRAM



6. COIL DATA CHART (AT20 ° C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance (Ω) □	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1200				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

7. CONTACT RATING

Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A	10A 30VDC
Resistive Load (cosφ=1)		30VDC	10A 240VAC
Inductive Load (cosφ=0.4 L/R=7msec)		10A 125VAC	5A 120VAC
		250VAC	5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		3A 120VAC	
		3A 28VDC	
Max. Allowable Power		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Factor		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

8. PERFORMANCE (at initial value)

Item	Type	SRD
Contact Resistance		100mΩ Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 MΩ Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching	Mechanically	300 operation/min
	Electrically	30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70 °C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration	Endurance	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
	Error Operation	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy	Mechanically	10 ⁷ operations Min. (no load)
	Electrically	10 ⁵ operations Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

9. REFERENCE DATA

