



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS Y  
MONITOREO DE SENSORES PARA UN EQUIPO DESALINIZADOR”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**GONZALO ESTÉFANO CORDERO PINARGOTE**

**JIMMY MONTERO GARÓFALO**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año: 2018**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a las dos personas que fueron mi mayor apoyo durante mi carrera universitaria, mis dos abuelas, Inés y Clorinda, que con su paciencia, consejos y amor me impulsaron a no darme por vencido nunca. El lograr el objetivo de culminar este proyecto se los debo a ustedes.

**Gonzalo Estéfano Cordero Pinargote.**

A Dios por permitirme cumplir esta meta, a mi numerosa familia y en especial a mis padres que siempre me han apoyado incondicionalmente en todos los ámbitos de mi carrera universitaria. A mis profesores por su ayuda y enseñanzas, y a mis amigos y compañeros que estuvieron presentes en este largo camino.

**Jimmy Montero Garófalo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por haber sido mi mayor apoyo en el transcurso de mi carrera universitaria. A mis amigos, con quienes aprendí el valor del compañerismo y el trabajo en equipo. A todos los docentes, que con su conocimiento, motivación y rigurosidad colaboraron fuertemente en mi formación personal y profesional, fomentando en mí la perseverancia y el deseo de superación constante.

**Gonzalo Estéfano Cordero Pinargote**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Gonzalo Estéfano Cordero Pinargote y Jimmy Montero Garófalo* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Gonzalo Estéfano  
Cordero Pinargote

---

Jimmy Montero Garófalo

# EVALUADORES

**Ph. D. Francisco Novillo Parales**

PROFESOR DE LA MATERIA

**MsC. Franklin Kuonquí Gaínza**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a través de su Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, desarrolló un prototipo de Desalinizador Híbrido y busca la implementación de un sistema que realice mediciones de temperatura, radiación y humedad en distintas zonas de este equipo para evaluar su comportamiento y corroborar que el valor de su eficiencia resulte un valor cercano al de su eficiencia teórica.

El presente documento muestra el proceso de desarrollo e implementación de un sistema electrónico de monitoreo de niveles de temperatura, radiación y humedad para este prototipo, así como el control del funcionamiento de resistencias térmicas y almacenamiento de mediciones realizadas para su posterior análisis por parte del cliente.

Luego de realizar una investigación exploratoria, se desarrolló un modelo de sistema basado en tres procesos: Adquisición, Procesamiento y Almacenamiento de Datos. La implementación de este modelo se logró mediante el uso del computador de placa reducida Raspberry Pi 3 y su integración con sensores digitales y analógicos, relés y otros dispositivos electrónicos que además faciliten la interacción con el usuario.

Se realizaron pruebas del sistema electrónico desarrollado en diferentes ambientes para calibrar correctamente los sensores, y asegurar su funcionamiento bajo las condiciones de trabajo del desalinizador. Para luego realizar las pruebas respectivas en conjunto con el equipo desalinizador funcionando, los resultados de estas pruebas se presentan más adelante en el presente documento.

**Palabras Clave:** Desalinizador, Eficiencia, Sensores, Sistema Electrónico.

## **ABSTRACT**

*The Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), through its Faculty of Engineering in Mechanics and Production Sciences, developed a prototype of Hybrid Desalination and seeks the implementation of a system that makes measurements of temperature, radiation and humidity in different areas of this team to evaluate its behavior and corroborate that the value of its efficiency is a value close to its theoretical efficiency.*

*This document shows the process of development and implementation of an electronic system for monitoring temperature, radiation and humidity levels for this prototype, as well as the control of thermal resistance and storage of measurements performed for further analysis by the client.*

*After conducting an exploratory investigation, a system model was developed based on three processes: Acquisition, Processing and Data Storage. The implementation of this model was achieved using the reduced plate computer Raspberry Pi 3 and its integration with digital and analog sensors, relays and other electronic devices that also facilitate interaction with the user.*

*Tests of the electronic system developed in different environments were carried out to correctly calibrate the sensors, and to ensure their operation under the working conditions of the desalinator. To then perform the respective tests in conjunction with the desalination equipment in use, the results of these tests are presented later in this document.*

**Keywords:** *Desalinator, efficiency, sensors, Electronic system.*

# ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO 2	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Procedimiento de Medición actual	5
2.2 Necesidad de las variables a medir	5
2.2.1 Introducción	5
2.2.2 Captación de la energía solar	6
2.2.3 Medición de la humedad	6
2.2.4 Medición de la temperatura	7
2.3 Protocolos de comunicación utilizados	7
2.3.1 Comunicación SPI	7
2.3.2 Circuito inter-integrado (I2C)	8
2.3.3 Protocolo de Comunicación 1-Wire	9
2.4 Sensor Digital	10
2.5 Convertidor Analógico-Digital	10
2.6 SBC (Single Board Computer)	10
CAPÍTULO 3	12
3. MODELO DEL SISTEMA	12
3.1 Escenario	12
3.2 Modelo Planteado	13
3.3 Bloque de Adquisición de Datos	13

3.3.1	Sensor de temperatura/humedad DTH22	14
3.3.2	Sensor de temperatura para líquidos DS18B20	14
3.3.3	Convertidor Analógico-Digital MCP3008	16
3.4	Bloque de Procesamiento	16
3.4.1	Raspberry Pi 3	16
3.4.2	Puertos GPIO (Entrada y Salida de propósito general)	17
3.5	Bloque de Almacenamiento	18
3.5.1	Módulo Relé de 5V para Arduino y Raspberry Pi	19
3.6	Operación del Sistema	19
CAPÍTULO 4		21
4.	IMPLEMENTACIÓN	21
4.1	Conexión física de dispositivos	21
4.1.1	Sensores DS18B20	21
4.1.2	Sensores DHT22	21
4.1.3	MCP3008	22
4.1.4	Conexiones de Botones y LEDs	22
4.1.5	Conexión del Relé	23
4.1.6	Conexión de Pantalla LCD	23
4.1.7	Conexión de Reloj de Tiempo Real	24
4.2	Conexión entre dispositivos	24
4.3	Desarrollos electrónicos	27
4.4	Algoritmo ejecutado por la programación	28
4.5	Implementación de Prototipo Final	30
CAPÍTULO 5		32
5.	PRUEBAS Y RESULTADOS	32
5.1	Pruebas de Campo del equipo desarrollado.	32
5.2	Procedimiento de las mediciones	33

5.3	Resultados de las mediciones	33
5.4	Análisis de Resultados	37
CAPÍTULO 6		38
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	38
6.1	Conclusiones	38
6.2	Recomendaciones	39

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter-IC (inter integrated circuits)
GPIO	General Purpose Input/output
BCM	Broadcom SOC channel
GND	Ground

## SIMBOLOGÍA

W/m<sup>2</sup>      Vatios por metro cuadrado

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Parámetros a Medir [11] .....	2
Figura 2.1 Comunicación SPI .....	8
Figura 2.2 Comunicación I2C .....	9
Figura 2.3 Protocolo 1-Wire .....	9
Figura 3.1 Parámetros a medir en equipo desalinizador .....	12
Figura 3.2 Modelo del Sistema .....	13
Figura 3.3 Ilustración de la conexión de un sensor DHT22 .....	14
Figura 3.4 Ilustración del DS18B20 y el Protocolo 1-Wire [13] .....	15
Figura 3.5 Integrado MCP3008 .....	16
Figura 3.6 Raspberry Pi 3 modelo B.....	17
Figura 3.7 Puertos GPIO Raspberry Pi 3 Modelo B.....	18
Figura 3.8 Módulo Relé de 5V para RPi y Arduino .....	19
Figura 3.9 Interfaz de Usuario .....	20
Figura 3.10 Diagrama de flujo de la interacción Usuario-Equipo.....	20
Figura 4.1 Conexión de Sensores DS18B20 .....	21
Figura 4.2 Conexiones sensores DHT22.....	22
Figura 4.3 Conexión física del ADC MCP3008.....	22
Figura 4.4 Conexión física de Pulsadores y LEDs.....	23
Figura 4.5 Conexión del Relé .....	23
Figura 4.6 Conexión Pantalla LCD .....	23
Figura 4.7 Conexión RTC .....	24
Figura 4.8 Conexión entre dispositivos.....	26
Figura 4.9 Diseño Esquemático de la Placa implementada.....	27
Figura 4.10 Diseño Impreso de Placa PCB .....	28
Figura 4.11 Diagrama de Flujo de la programación implementada .....	29
Figura 4.12. Plano Frontal del Diseño de la Implementación para Usuario .....	30
Figura 4.13 Vista del Diseño de la Implementación para Usuario .....	31
Figura 5.1 Sistema electrónico integrado al equipo desalinizador .....	32
Figura 5.2 Resultados del Comportamiento Térmico con respecto al tiempo.....	34
Figura 5.3 Función de Distribución Acumulada de Irradiación.....	35
Figura 5.4 Función de Distribución Acumulada de Temperatura.....	35
Figura 5.5 Función de Distribución Acumulada de Humedad Relativa .....	36

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de Conexiones en puertos GPIO .....	24
--	----

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Como una alternativa sostenible contra la creciente escasez de agua dulce, en diversos países ya se recurre a procesos de desalinización. Según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI) [1], el 12% de la población rural del Ecuador no goza del derecho al agua dulce, por lo que, ESPOL propuso la construcción de un desalinizador híbrido capaz de producir de 8 a 9 litros de agua dulce en una jornada de 8 horas de trabajo [1]. Su funcionamiento emplea fuentes de energía no convencionales (energía solar) para no verse limitado por las fuentes de energía tradicionales. [1] El prototipo cuenta también con resistencias térmicas eléctricas que son puestas en funcionamiento cuando las condiciones climáticas no son favorables para una buena eficiencia.

Actualmente el equipo está siendo puesto a prueba en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, y en este proceso se toman registros de diferentes parámetros (temperatura, radiación y humedad) en distintas zonas del equipo para evaluar su comportamiento y corroborar que el valor de su eficiencia experimental resulte un valor cercano al de su eficiencia teórica.

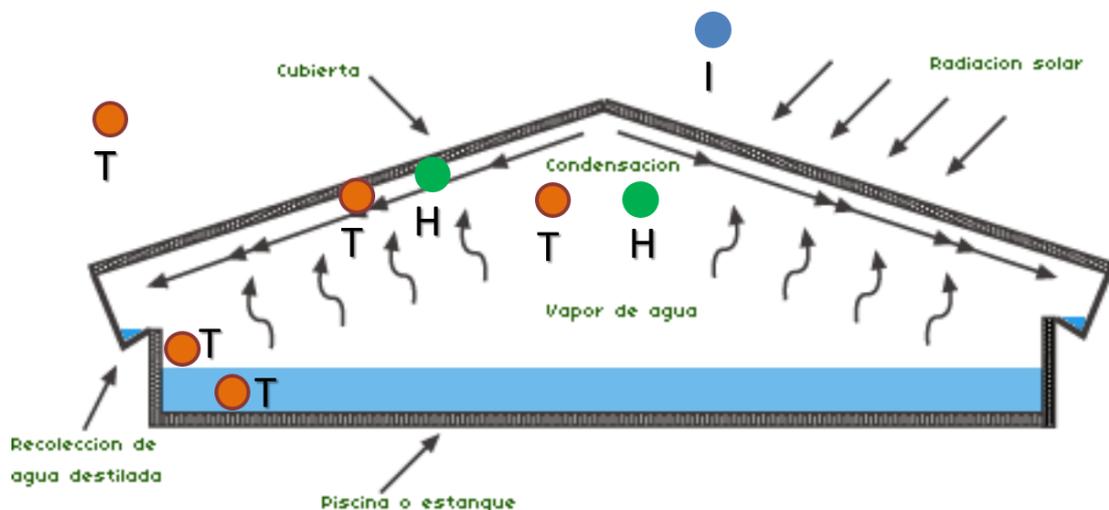
Sin embargo, al no contar con un sistema que realice la toma de estos datos, se presentan diversos inconvenientes, entre los que podemos destacar: el tener que realizar de forma manual las mediciones y el accionamiento de las resistencias. Un análisis más detallado de estas y otras problemáticas se presentan más adelante en este documento.

Por tal motivo, en el proyecto a continuación descrito se presenta un sistema electrónico capaz de realizar estas tareas y almacenar las mediciones tomadas. Estos datos serán utilizados para crear la curva característica del equipo y comprender de mejor manera su comportamiento en diferentes jornadas donde las condiciones climáticas varían o no sean las adecuadas.

## 1.1 Descripción del problema

Una vez construido, los estudiantes de Ingeniería Mecánica realizaron pruebas para confirmar que su equipo cumple con las características deseadas. Se tomaron mediciones de los siguientes parámetros: temperatura de evaporación del agua, temperatura del ambiente, temperatura del vidrio, temperatura de la bandeja, radiación solar y niveles de humedad. Estos datos se tomaban en intervalos de diez minutos durante 8 horas consecutivas de funcionamiento del prototipo. Se encendían las resistencias en caso de ser necesario, esto se evaluaba con las mediciones tomadas en tiempo real en el caso de que la energía solar no cumpla con la demanda energética del equipo [1].

La figura 1.1 muestra los puntos en el equipo en donde son tomadas mediciones de los diferentes parámetros.



**Figura 1.1. Parámetros a Medir [11]**

Los parámetros a medir en los diferentes puntos son:

- Temperatura
- Humedad Relativa
- Irradiación

Cuando se utilizaba únicamente la energía solar, se lograba alcanzar una eficiencia de hasta 20% en días despejados y valores más bajos en días nublados. Mientras que al implementar el sistema híbrido (resistencias térmicas), la eficiencia experimental obtenida alcanzaba hasta el 37%, lo cual era un resultado muy satisfactorio ya que la eficiencia teórica es de 35%. [1]

Sin embargo, todo este proceso anteriormente descrito se realiza de forma manual, por personal encargado de tomar las mediciones en los puntos señalados

mediante el uso de instrumentos de medición analógicos que son insertados en el equipo desalinizador cada 5 o 10 minutos durante una jornada de trabajo, que por lo general dura como mínimo 8 horas consecutivas.

El tener que realizar las mediciones de forma manual cada 10 minutos durante toda la jornada implica desgaste físico innecesario por parte del personal que opere el equipo y ello puede inducir a imprecisiones y errores en la obtención de datos debido a la fatiga que implica el extenuante trabajo.

La imprecisión en los instrumentos de medición analógicos actualmente utilizados es otro problema a tratar. Es de suma importancia trabajar con datos muy precisos, por eso se necesita de un ajuste previo de sensores antes de cada toma de datos. En la siguiente sección se muestra una breve explicación de la forma en la que se toman los datos actualmente.

Para la toma de datos de irradiación, se utiliza un Piranómetro de Radiación Global, que nos brinda una medición en milivoltios proporcional a la medida de la Irradiación. Se llega a este valor al dividir el valor en milivoltios por la sensibilidad del equipo. Actualmente se realiza este proceso con un multímetro y se realiza el cálculo manualmente. Este cálculo nos permite evaluar si estamos recibiendo la potencia necesaria del sol para mantener una temperatura que permita la evaporación o si es necesario encender las resistencias térmicas.

Vale mencionar también los altos niveles de radiación UV a la que se ven expuestos los encargados de la toma de datos y que puede repercutir gravemente en su salud.

## **1.2 Justificación del problema**

La toma de datos por medio de sistemas analógicos de medición, como los Termopares tipo K, implica estar más propensos a la presencia de errores debido a diversos factores, entre ellos: errores por parte del operador, errores debido al desgaste del instrumento, errores debido a factores ambientales, entre otros.

Enfocándonos en mejorar el rendimiento general del desalinizador, obtener datos reales y más exactos de parámetros fundamentales que ayuden a interpretar de mejor manera su funcionamiento y tomando en consideración las condiciones externas a las que está expuesto, el sistema electrónico que vamos a proponer se muestra como una solución eficaz y robusta, que goza de autonomía y que permitirá obtener las curvas características del equipo con la finalidad de mejorar

su eficiencia haciendo las implementaciones necesarias con miras a una producción a gran escala.

La activación y desactivación oportuna de las resistencias eléctricas si las condiciones climáticas lo ameritan es primordial para incrementar significativamente el desempeño del equipo desalinizador. Además, el implementar un sistema que controle el funcionamiento de las resistencias únicamente cuando sean necesarias, implica una reducción en los costos de operación.

Es necesario mencionar algunos conceptos básicos acerca del fenómeno por el cual se produce la desalinización del agua en el equipo hacia el que va dirigido nuestro sistema para entender la necesidad de los parámetros que se busca medir, se realiza esta explicación en la siguiente sección.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema electrónico para la adquisición de datos y monitoreo de sensores de un equipo desalinizador.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar una interfaz amigable para interacción del usuario final con el sistema propuesto en el presente documento.
- Evaluar el desempeño del sistema propuesto para toma de datos en el equipo desalinizador en escenario real.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Procedimiento de Medición actual

Actualmente, se toman los datos con los siguientes instrumentos de medición: Termopares tipo K, Multímetros, Piranómetro de Radiación Global y Data Logger. Para ello, se realiza el siguiente procedimiento [1]:

- Se ubica el desalinizador con su eje de simetría longitudinal de norte a sur.
- Se ubica las termocuplas en una región en donde se pueda medir la temperatura de bandeja, de evaporización, del agua, del ambiente y del vidrio.
- Se ubica el piranómetro en un lugar despejado, es decir, en ausencia de sombra.
- Se ingresa el agua salada por la respectiva entrada.
- Registrar los respectivos datos en intervalos de 5-10 minutos.

### 2.2 Necesidad de las variables a medir

#### 2.2.1 Introducción

Como se conoce, tres cuartas partes de la superficie del planeta están cubiertas por el agua de los océanos, es decir, agua “salada”. Conocemos además que no es posible la vida de los humanos sin agua potable [12].

El agua se puede considerar potable sólo cuando tiene presente menos de cierto límite de sustancias minerales y microorganismos, se considera no potable al agua que tiene en solución más de 500 partes por millón de sal común. Debido a su alta concentración de sales minerales, el agua de los océanos no es considerada potable [12] (posee 24 mil partes por millón de cloruro de sodio y 34500 partes por millón de sales en total), por lo que se presenta un serio problema de disponibilidad de agua para el hombre.

Pero la naturaleza presenta procesos físicos que permiten generar agua potable a partir del agua de los océanos. Este proceso se conoce como ciclo hidrológico, y consiste en que el agua de los océanos se calienta por efecto de la luz solar, evaporándose y pasando a formar parte de la atmósfera en forma de vapor

hasta encontrar condiciones que le permitan condensarse y formar nubes para luego caer a la superficie en forma de lluvia.

Durante este proceso, el Sol suministra la energía suficiente para purificar el agua al separarla de los minerales que tiene en solución en el mar.

En la actualidad, nos encontramos en una búsqueda de desarrollo de tecnología sostenible y amigable con la naturaleza. El uso de la energía solar no produce efectos que alteren de forma grave al medio ambiente, por lo que es considerado uno de los tipos de energía más limpias.

Sus aplicaciones se pueden manejar con tecnología desde la más simple hasta la más sofisticada. Una de ellas es justamente la producción de agua dulce a partir de agua salada utilizando el mismo principio del ciclo hidrológico, en donde se evapora el agua de un embalse con presencia de sales y se condensa en otra parte en donde se obtiene agua purificada. Este proceso se logra en el equipo conocido como destilador o desalinizador solar [12].

A continuación se presenta una descripción cualitativa de los procesos en los que se basa la destilación solar para entender la importancia de las variables que medirá el sistema electrónico que desarrollaremos.

### **2.2.2 Captación de la energía solar**

El principio del diseño de un desalinizador solar supone básicamente una reproducción del ciclo natural del agua, pero a pequeña escala.

En el desalinizador que nos compete, se utiliza un colector solar que transforma la energía solar en un incremento en la temperatura del agua para poder evaporarla [12].

Es por ello que, conocer la potencia de radiación en el momento del proceso, es vital para verificar los resultados finales, ya que una mayor potencia de radiación supone un mayor rendimiento del equipo.

### **2.2.3 Medición de la humedad**

Se dispone de un espacio contenedor que tiene un recipiente o estanque con fondo de color negro en donde ubicaremos el agua salada que va intervenir en el proceso. [12]

Para cerrar este espacio se coloca una superficie transparente que permite pasar la radiación, provocando un efecto invernadero, al tiempo que también retiene la humedad.

Como lo mencionamos anteriormente, la radiación solar entra en contacto con el colector, elevando su temperatura así como la del agua salada contenida y del aire que se encuentra en el interior, favoreciendo a la evaporación.

Todo esto crea en el interior una atmósfera a temperaturas elevadas y con saturación de humedad, es por esto que para la caracterización final del equipo desalinizador requerimos conocer los niveles de humedad de la atmósfera interior y de la parte interna de la superficie transparente.

#### **2.2.4 Medición de la temperatura**

El vapor del agua asciende desde el colector hasta hacer contacto con la superficie transparente, que al estar en contacto con el exterior, presenta una temperatura más baja que las demás partes del equipo. [12]

Por ello, es necesario conocer la temperatura de la parte interna de la superficie transparente, ya que es en ella en donde se condensa el agua, formando pequeñas gotas de agua que ya ha sido desalinizada.

Mediremos también la temperatura del agua contenida en el colector y la temperatura en la superficie del agua, que es el punto exacto en donde se produce la evaporación.

### **2.3 Protocolos de comunicación utilizados**

#### **2.3.1 Comunicación SPI**

Comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), que significa 'Interfaz periférica Serial', es un protocolo de datos en serie síncrono empleado por los microcontroladores para comunicarse rápidamente con dispositivos periféricos en pequeñas distancias. En una comunicación SPI siempre habrá un dispositivo maestro que controlará los dispositivos periféricos. [5]

La comunicación se establece mediante un bus de datos "síncrono", lo cual significa que utiliza líneas separadas para los datos y un "reloj" que mantiene a ambos lados en perfecta sincronización. En SPI, solo un lado genera la señal de reloj (generalmente llamada CLK o SCK para Serial Clock). El lado que genera el reloj se llama el "maestro", y el otro lado se llama el "esclavo". Siempre hay un solo maestro (que es casi siempre su microcontrolador), pero puede haber múltiples esclavos. Cuando los datos se envían desde el maestro a un esclavo, se envían a una línea de datos llamada MOSI, para "Master Out / Slave In", tal

como se ilustra en la figura 2.1. Si el esclavo necesita enviar una respuesta al maestro, el maestro continuará generando un número de ciclos de reloj predispuestos, y el esclavo colocará los datos en una tercera línea de datos llamada MISO, para "Master In / Slave Out". [6]

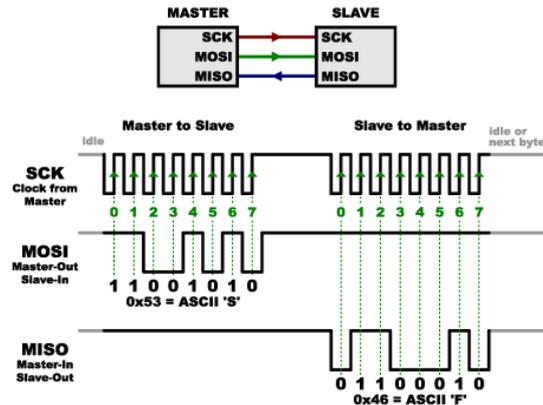


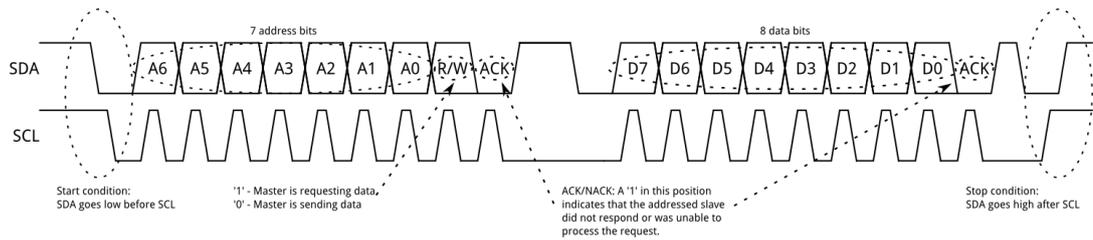
Figura 2.1 Comunicación SPI

### 2.3.2 Circuito inter-integrado (I2C)

Es un protocolo destinado a la comunicación entre múltiples circuitos integrados o esclavos con uno o varios 'maestros'. La principal diferencia con SPI es que este protocolo es asincrónico. Este protocolo de transmisión requiere solo dos cables, como seriales asincrónicos, pero estos dos cables pueden admitir hasta 1008 dispositivos esclavos. Además, a diferencia de SPI, I2C puede admitir un sistema multimaestro, permitiendo que más de un maestro se comunique con todos los dispositivos en el bus (aunque los dispositivos maestros no pueden comunicarse entre sí por el bus y deben turnarse usando las líneas de bus). La mayoría de los dispositivos I2C pueden comunicarse a 100 kHz o 400 kHz. Hay algunos gastos indirectos con I2C; por cada 8 bits de datos que se envían, se debe transmitir un bit adicional de metadatos.

Cada bus I2C consta de dos señales: SCL y SDA, tal como se muestra en la figura 2.2. SCL es la señal del reloj, y SDA es la señal de datos. La señal de reloj siempre la genera el maestro de bus actual; algunos dispositivos esclavos pueden forzar el reloj a veces para retrasar el envío de más datos (o para requerir más tiempo para preparar los datos antes de que el maestro intente sincronizarlos). La comunicación a través de I2C es más compleja que con una solución UART o SPI. La señalización debe cumplir con un cierto protocolo para

que los dispositivos en el bus lo reconozcan como comunicaciones I2C válidas. [7]



**Figura 2.2 Comunicación I2C**

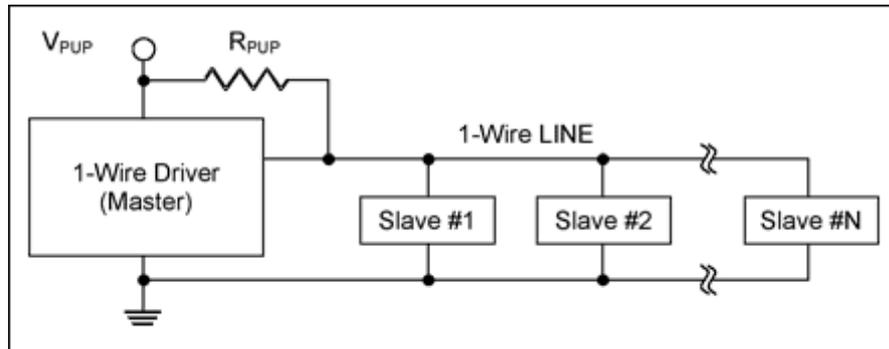
### 2.3.3 Protocolo de Comunicación 1-Wire

1-Wire es un protocolo de comunicaciones para dispositivos en serie que fue diseñado por la empresa Dallas Semiconductors.

Su funcionamiento se basa en un bus, un maestro y varios esclavos de una sola línea [17]. Este protocolo necesita una referencia a tierra común a todos los dispositivos conectados, tal como se muestra en la figura 2.3.

Los dispositivos que soportan este protocolo tienen un número de identificación único e inalterable de 64 bits.

El maestro da inicio y controla la comunicación, que es bidireccional y half-duplex.



**Figura 2.3 Protocolo 1-Wire**

La comunicación se da mediante espacios de tiempo de 60 microsegundos, en donde los esclavos proceden a sincronizarse con el reloj del maestro a través de la línea. Se puede decir que la comunicación se da en tres fases

1. Reset/Sincronización de dispositivos.
2. ROM Command, por ejemplo, seleccionar un dispositivo.
3. Función con uno de los dispositivos (Memory Command).

## **2.4 Sensor Digital**

En la actualidad es mucho mayor la presencia de sistemas digitales usados para el tratamiento y presentación de la información en los sistemas de medida y control. Por ello, se vuelve muy atractiva la idea de usar aquellos sensores cuya salida es una señal en forma digital, ya que se presenta una inmunidad a las interferencias electromagnéticas en muchos casos, además de la simplificación que se presenta en el proceso de acondicionar la señal [18].

Sin embargo, se debe decir que la transducción no da directamente una salida digital. Sino que se convierte una magnitud analógica de entrada en una señal digital por medio de un sensor, sin tener que convertir una tensión analógica en digital.

## **2.5 Convertidor Analógico-Digital**

Es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica, ya sea de tensión o corriente, en una señal digital mediante un cuantificador y codificándose en muchos casos en un código binario en particular. Donde un código es la representación unívoca de los elementos, en este caso, cada valor numérico binario hace corresponder a un solo valor de tensión o corriente [19].

En la cuantificación de la señal se produce pérdida de la información que no puede ser recuperada en el proceso inverso, es decir, en la conversión de señal digital a analógica y esto es debido a que se truncan los valores entre 2 niveles de cuantificación, mientras mayor cantidad de bits mayor resolución y por lo tanto menor información pérdida.

## **2.6 SBC (Single Board Computer)**

Single Board Computer o Computadora de placa reducida, es un dispositivo electrónico que constituye una placa que contiene todos o la mayor parte de los componentes de una computadora normal, pero integrados dentro de la misma placa base [20].

Dado su pequeño tamaño, muchos modelos tienen dimensiones similares a las de una credencial, este es el caso de la Raspberry Pi que mide 8,5 x 5,3 cm y que cabe perfectamente en la palma de la mano.

Resultan mucho más económicas, en comparación con otras soluciones que se pueda encontrar en el mercado.

Estas placas ofrecen poca potencia, sin embargo, todas las computadoras de placa reducida ofrecen una potencia más que suficiente para ofimática, desarrollo e incluso reproducción multimedia.

# CAPÍTULO 3

## 3. MODELO DEL SISTEMA

### 3.1 Escenario

El equipo al que se busca instalar el sistema a desarrollar es un destilador solar de dos vertientes. Se busca obtener mediciones de los siguientes parámetros:

#### a) Temperatura :

- T1: Superficie del agua
- T2: Agua contenida en la bandeja
- T3: Ambiente exterior
- T4: Superficie interior del vidrio
- T5: Ambiente interior

#### b) Humedad Relativa

- H1: Superficie interior del vidrio
- H2: Ambiente interior

#### c) Irradiación (I)

Ubicados en el equipo desalinizador, tal como lo muestra la figura 3.1.

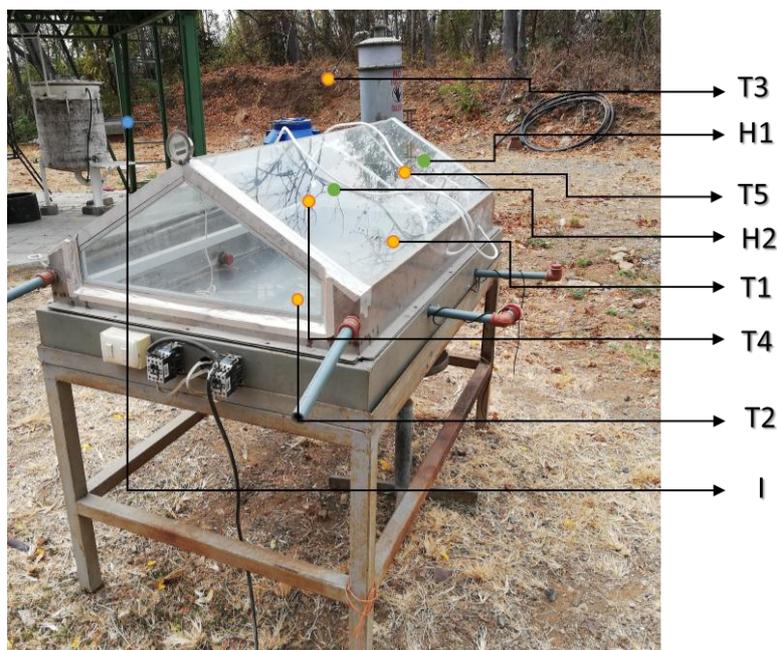


Figura 3.1 Parámetros a medir en equipo desalinizador

### 3.2 Modelo Planteado

Luego de una investigación exploratoria, se plantea desarrollar un modelo que consta de tres bloques: Adquisición de Datos, Procesamiento y Almacenamiento, para la obtención de los datos con la nomenclatura propuesta en la sección 3.1. Este modelo está ilustrado a través de la Figura 3.2.

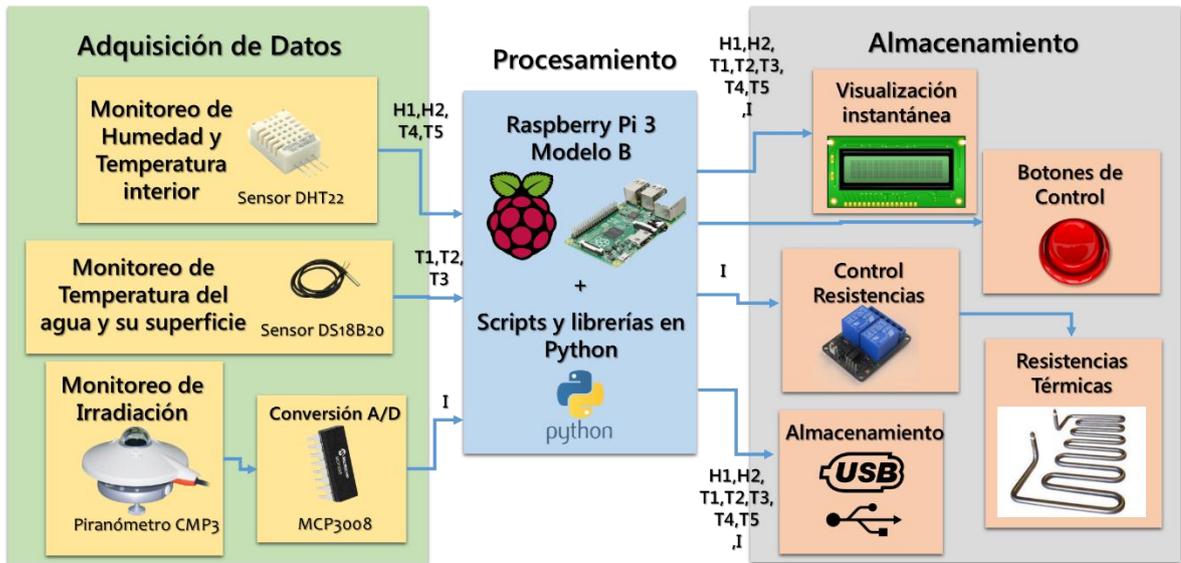


Figura 3.2 Modelo del Sistema

En el primer bloque implementamos la toma de datos a través de los sensores que vamos a utilizar y que medirán los diferentes parámetros. El procesamiento de estos datos se describe en el segundo bloque. Finalmente, en el bloque de Almacenamiento se muestra el modo en que los datos son guardados para su posterior manipulación por parte del usuario y la interacción de este en el control del funcionamiento del equipo propuesto como solución. Una descripción más detallada de cada bloque se muestra a continuación.

### 3.3 Bloque de Adquisición de Datos

Para el desarrollo de nuestro sistema tomamos en consideración diferentes parámetros como: el costo de las herramientas de hardware (sensores, tarjetas de desarrollo, etc.), las características fundamentales de los sensores (precisión, sensibilidad, rango y velocidad de muestreo), elección del software, recubrimientos y protecciones para condiciones de trabajo del equipo (altas temperaturas y salinidad), todo esto para que se ajuste a nuestras necesidades y que se cumpla a cabalidad con los objetivos planteados y satisfacer los requerimientos del cliente.

Por la adquisición de datos hemos seleccionado 2 sensores digitales: DHT22 y DS18B20. Una breve descripción de ellos se muestra a continuación:

### 3.3.1 Sensor de temperatura/humedad DHT22

Consta de tres partes principales, las cuales son, un sensor capacitivo de humedad, un termistor y un convertidor analógico-digital que nos entregará una señal digital por el pin de salida de datos. [8] Entre las principales características de este sensor están:

- Precisión:  $\pm 2\%$  HR,  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ .
- Sensibilidad: 0.1% HR,  $0.1^\circ\text{C}$ .
- Rango de medición: 0 a 100% HR,  $-40$  a  $125^\circ\text{C}$ .
- Velocidad de muestreo: 0.5 Hz

El esquema de conexión general de este sensor se muestra en la figura 3.3. El DHT22 usa tecnología simplificada de bus simple como protocolo de comunicación. A través de una salida de 40 bits, este sensor nos provee las mediciones de temperatura y de humedad relativa de un mismo punto.

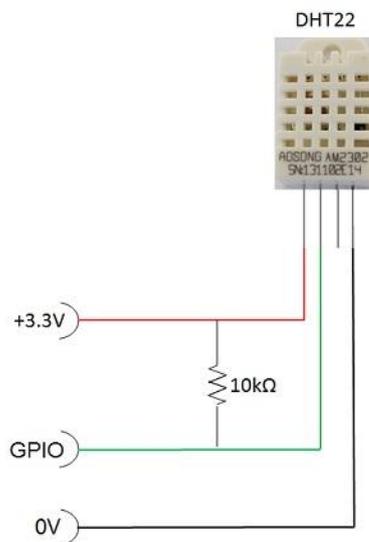


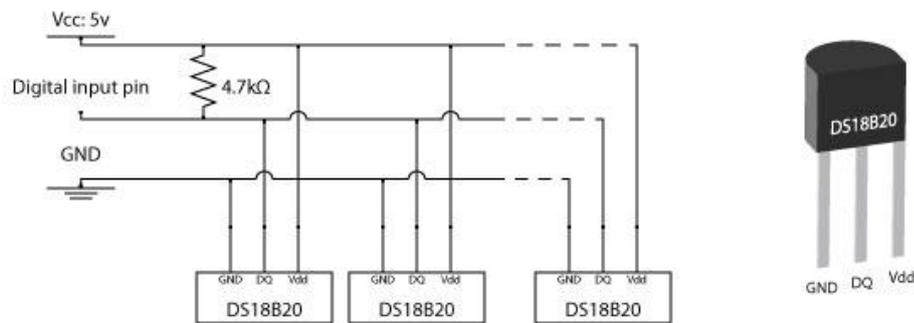
Figura 3.3 Ilustración de la conexión de un sensor DHT22

### 3.3.2 Sensor de temperatura para líquidos DS18B20

Este es un sensor idóneo cuando queremos medir la temperatura dentro del agua, ya que presenta una versión en forma de sonda impermeable. Tiene tres pines a utilizar VDD, GND y DQ. [14] Su tensión de alimentación va de 3V a 5.5V y se suministra a través del pin VDD.

El pin de datos es el pin DQ y a través de él se recibirán todos los datos del protocolo 1-Wire que presenta la ventaja de necesitar un solo cable para conectar varios sensores de temperatura. Por ello, usamos 1 solo pin GPIO para conectar múltiples sensores en paralelo. En Raspberry Pi, el pin que soporta este protocolo es el pin GPIO4 (BCM).

El DS18B20 puede medir temperaturas entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $125^{\circ}\text{C}$ . Para temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $85^{\circ}\text{C}$  podemos tener  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Para el resto de temperaturas entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $125^{\circ}\text{C}$  el error es de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Admite resoluciones de 9-bit, 10-bit, 11-bit y 12-bit. Por defecto utiliza la resolución de 12-bit. [14]. El esquema de conexión general de este sensor se ilustra en la figura 3.4.



**Figura 3.4 Ilustración del DS18B20 y el Protocolo 1-Wire [13]**

Utilizaremos estos dos sensores descritos para la obtención de mediciones de temperatura y humedad relativa.

T1 y T2 son puntos sumergidos, por lo que utilizaremos DS18B20 para su medición, se implementará también un sensor de este tipo para obtención de la temperatura ambiente externa (T3).

En los puntos no sumergidos, ubicaremos 2 sensores DHT22 para la obtención de H1, H2, T4, T5. Como se describió anteriormente, DHT22 envía datos de temperatura y humedad relativa a través una misma trama de 40 bits.

La adquisición de datos de Irradiación (I) se hace por medio del Piranómetro de Radiación Global modelo CMP3 provisto por el cliente, cuya salida es un valor analógico de Voltaje. Se prevé que el bloque de procesamiento solo admitirá valores digitales, por lo que se procede a implementar un bloque de conversión de datos analógicos a digitales basado en el integrado MCP3008, cuya descripción se muestra a continuación.

### 3.3.3 Convertidor Analógico-Digital MCP3008

El Integrado MCP3008 es convertidor analógico a digital de 10 bits y 8 canales de bajo costo. Se conecta a dispositivos de procesamiento usando una conexión serial de protocolo SPI, a través de los pines CLK, DOUT, DIN, CS, mostrados en la figura 3.5 [16]. La conexión de estos pines con los puertos correspondientes será descrita en el próximo capítulo. Será utilizado en este proyecto para la conversión de la señal analógica de voltaje emitida por el piranómetro de radiación global.

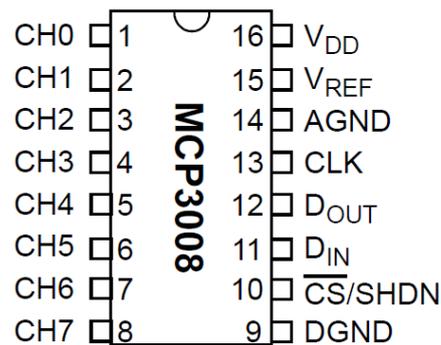


Figura 3.5 Integrado MCP3008

## 3.4 Bloque de Procesamiento

Una vez obtenidos los valores digitales de todos los parámetros El procesamiento de todos estos datos se hace por medio de una Raspberry Pi 3 modelo B, los sensores anteriormente descritos se conectarán por medio de sus puertos GPIO. Una breve descripción de este dispositivo se muestra a continuación.

### 3.4.1 Raspberry Pi 3

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida desarrollado por la organización Raspberry Pi del Reino Unido [9]. Es un producto con propiedad registrada pero de uso libre, basado en el microcontrolador Atmel ATmega644.

El modelo B de Raspberry Pi 3 se muestra en la figura 3.6 y es el primer modelo de la Raspberry Pi de tercera generación. Reemplazó el Raspberry Pi 2 Model B en febrero de 2016.

Posee las siguientes características [9]:

- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1GB de RAM
- BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth de baja energía (BLE)

- Puerto Ethernet 10/100Mb
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2.0
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- Salida de vídeo HDMI “full HD”
- Puerto de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Puerto Micro SD para cargar su sistema operativo (Raspbian Stretch) y almacenar datos
- Fuente de alimentación micro USB conmutada actualizada de hasta 2.5 A



**Figura 3.6 Raspberry Pi 3 modelo B**

### **3.4.2 Puertos GPIO (Entrada y Salida de propósito general)**

Los puertos GPIO se consideran una de las herramientas más importantes de la Raspberry pi, ya que permite la conexión directa de un circuito electrónico para su control. Así, en algunos sistemas, una Raspberry puede ser considerada un microcontrolador. Cada uno de los pines de los puertos GPIO tiene una función específica y diferente, se muestran en la figura 3.7. Entre las tres principales están, proporcionar energía de manera constante a una parte de un circuito, programar un interruptor de encendido en uno de los pines y la detección del cambio sobre uno de los pines. [3] GPIO significa entrada / salida de propósitos generales, por sus siglas en inglés (general purpose input/output). Mediante software, estos pines pueden ser designados como entradas o salidas y ser usados para diferentes aplicaciones. [4]



del estado en el que se encuentre el equipo, y una pantalla LCD que mostrará instrucciones y permitirá la visualización de las mediciones instantáneas.

La medición de Irradiación sirve como condición para el encendido o apagado de las resistencias térmicas, que se accionarán por medio de un relé de 5V que será conectado como salida a un puerto GPIO y que se accionará cuando la medición se encuentre por debajo de un valor umbral establecido por el cliente. A continuación se describe el dispositivo relé.

### 3.5.1 Módulo Relé de 5V para Arduino y Raspberry Pi

Se utiliza para controlar un dispositivo electrónico determinado, en nuestro caso, controlarán el encendido o apagado de las resistencias térmicas.

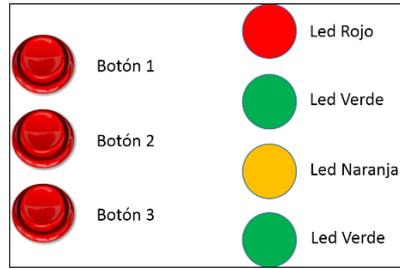
Los puertos GPIO de las Raspberry Pi pueden entregar un máximo de 5V DC, por lo que sería imposible conectar el juego de resistencias que necesitan 220V AC para su funcionamiento. Este módulo Relé permiten controlar dispositivos con el valor de voltaje requerido y funcionan con 5V que reciben de cualquier pin GPIO, por medio del cual se controla con señales: en alto (OFF) y en bajo (ON) para encendido y apagado de un dispositivo respectivamente. [15]. Se muestra en la figura 3.8.



Figura 3.8 Módulo Relé de 5V para RPi y Arduino

## 3.6 Operación del Sistema

El usuario controla el funcionamiento del equipo propuesto a través los botones y leds que se muestran en la figura 3.9 y que le indicarán el estado de funcionamiento del sistema.

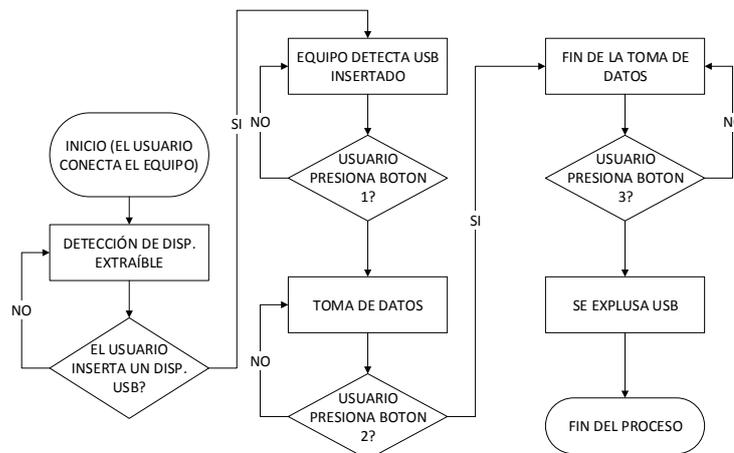


**Figura 3.9 Interfaz de Usuario**

La operación del sistema se describe a continuación:

1. El usuario enciende el equipo.
2. La programación implementada detectará si hay un dispositivo extraíble conectado.
  - a. En caso de haberlo, se enciende el segundo led (verde).
  - b. De no haberlo, se enciende el primer led (rojo) y no se permitirá continuar hasta conectar un dispositivo y ejecutar el literal a.
3. El sistema ahora se encuentra a la espera de que el usuario presione el botón 1 para comenzar la toma de datos, durante este proceso, se encenderá el tercer led (naranja).
4. Cuando el usuario desee culminar la toma de datos presionará el segundo botón y se encenderá el cuarto led (verde).
5. El sistema esperará que el usuario presione el último botón para expulsar el dispositivo extraíble. Culmina el funcionamiento del equipo.

La operación del sistema resume en el diagrama de flujo de la siguiente figura:



**Figura 3.10 Diagrama de flujo de la interacción Usuario-Equipo**

# CAPÍTULO 4

## 4. IMPLEMENTACIÓN

### 4.1 Conexión física de dispositivos

A continuación se muestra la conexión física de cada dispositivo utilizado.

#### 4.1.1 Sensores DS18B20

Se conectan los 3 sensores a utilizar en serie (debido al protocolo 1-Wire), los pines VCC se conectan a uno de los pines GPIO que provea 5V, se realiza lo mismo con los pines GND. Los pines de Datos (DQ) se podrán conectar únicamente al pin GPIO04 de la Raspberry, ya que solo este pin soporta el protocolo de comunicación utilizado. Se conecta además una resistencia de pull-up de 10k entre pin de datos y VCC y un capacitor de 100nF entre GND y VCC para mejorar el acondicionamiento de la señal. Esto se muestra en la figura 4.1.

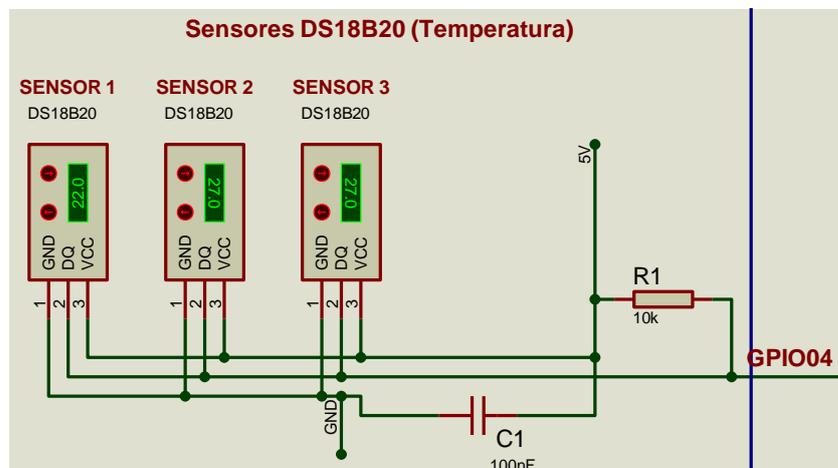


Figura 4.1 Conexión de Sensores DS18B20

#### 4.1.2 Sensores DHT22

El pin de Datos de cada sensor se conecta a un pin GPIO diferente, como se muestra en la figura 4.2. Se acondiciona la señal con una resistencia de pull-up de 4,7k y un capacitor de 100nF.

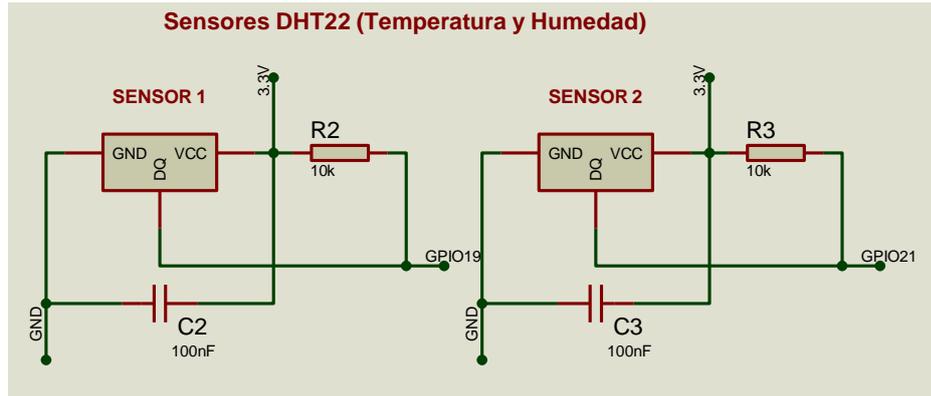


Figura 4.2 Conexiones sensores DHT22

#### 4.1.3 MCP3008

El ADC MCP3008, se conecta a los pines de la Raspberry Pi que soportan el protocolo de comunicación SPI, estos son los pines GPIO10, GPIO09, GPIO11, GPIO08. Estos se conectan a los pines CLK, DOUT, DIN y CS del integrado, tal como se muestra en la figura 4.3. El pin de datos del piranómetro se conecta al canal 0 del integrado.

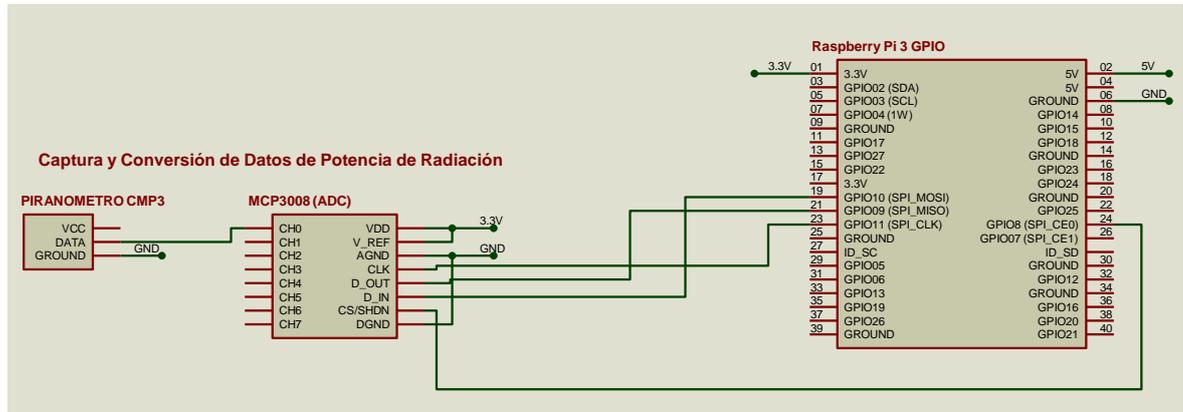
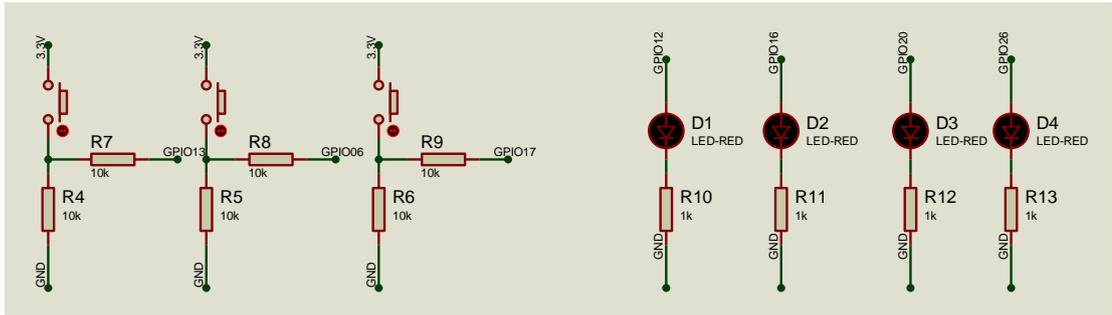


Figura 4.3 Conexión física del ADC MCP3008

#### 4.1.4 Conexiones de Botones y LEDs

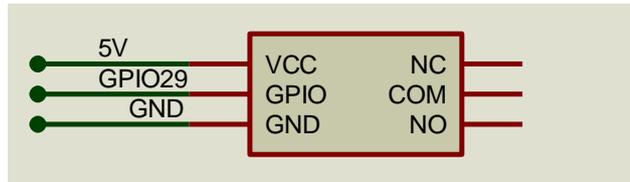
Se conectan los botones y LEDs según lo ilustrado en la figura 4.4. Se conectan los tres pulsadores con resistencias de pull-down.



**Figura 4.4 Conexión física de Pulsadores y LEDs**

#### 4.1.5 Conexión del Relé

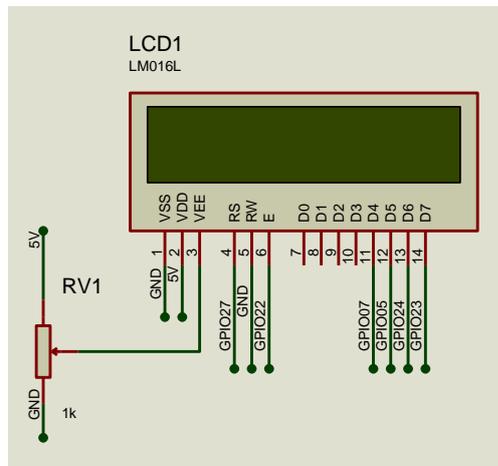
A través del Relé controlaremos el accionar de las resistencias térmicas, que serán conectadas entre los pines COM y NC, el pin de datos del relé se conecta al pin GPIO29. Esto se muestra en la figura 4.5.



**Figura 4.5 Conexión del Relé**

#### 4.1.6 Conexión de Pantalla LCD

La figura 4.6 muestra la conexión física de la pantalla LCD 16x2. Se usa en modo de 4 bits, por lo que solo usan 4 líneas del bus de datos para la comunicación. El potenciómetro que se muestra regula el contraste de la pantalla.



**Figura 4.6 Conexión Pantalla LCD**

### 4.1.7 Conexión de Reloj de Tiempo Real

La figura 4.7 muestra la conexión física del integrado DS3231 que funciona como un reloj de tiempo real, que manejará la hora del sistema de la Raspberry Pi. Utiliza protocolo de comunicación I2C.

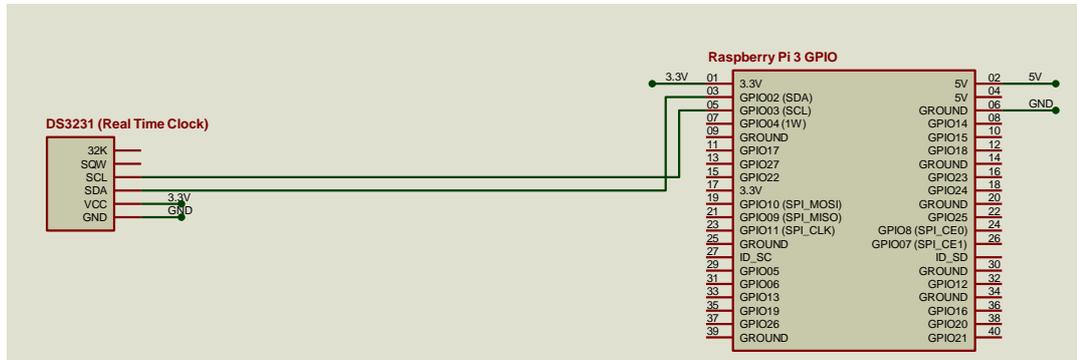


Figura 4.7 Conexión RTC

### 4.2 Conexión entre dispositivos

La Tabla 1 muestra un resumen de las conexiones físicas detalladas anteriormente. No se especifican los pines de alimentación (VCC o VDD) de cada dispositivo, así como los pines de Referencia (GND) porque se implementaron 3 nodos (para 5V, 3.3v y GND) con la finalidad de optimizar los pines GPIO disponibles, ya que Raspberry Pi 3 solo cuenta con 2 pines GPIO de 5V, así como 2 pines GPIO de 3,3V.

Tabla 1. Descripción de Conexiones en puertos GPIO

Pin	Tipo(Entrada o Salida)	Dispositivo Conectado
GPIO 13	ENTRADA	Botón 1
GPIO 06	ENTRADA	Botón 2
GPIO 17	ENTRADA	Botón 3
GPIO 12	SALIDA	Led 1
GPIO 16	SALIDA	Led 2
GPIO 20	SALIDA	Led 3
GPIO 26	SALIDA	Led 4
GPIO 29	SALIDA	Relay
GPIO 21	ENTRADA	DHT1
GPIO 19	ENTRADA	DHT2
GPIO 11	ENTRADA	MCP3008 CLK
GPIO 09	ENTRADA	MCP3008 DOUT
GPIO 10	ENTRADA	MCP3008 DIN
GPIO 08	ENTRADA	MCP3008 CS/SHDN
GPIO 27	SALIDA	LCD RS
GPIO 22	SALIDA	LCD ENABLE

GPIO 07	SALIDA	LCD D4
GPIO 25	SALIDA	LCD D5
GPIO 24	SALIDA	LCD D6
GPIO 23	SALIDA	LCD D7
GPIO 04	ENTRADA	DS18B20
GPIO 02	ENTRADA	RTC SDA
GPIO 03	ENTRADA	RTC SCL

La figura 4.9 muestra la conexión física completa de todos los dispositivos utilizados a través de un diagrama esquemático realizado en el software Proteus 8.6.



### 4.3 Desarrollos electrónicos

Se desarrolló una placa de circuito impreso como conexión entre los Puertos GPIO y los sensores. Contiene básicamente borneras de 2 y de 3 terminales por medio de las cuales conectaremos los sensores y nos permite optimizar las fuentes de alimentación de 3.3V y 5V, ya que solo necesitaremos uno de cada uno para alimentar a los diferentes dispositivos en toda la placa. El diagrama esquemático de este circuito se muestra en la figura 4.9, mientras que el diseño del circuito impreso se muestra en la figura 4.10. Se puede observar que las conexiones definidas en la Tabla 1 de la sección 4.2 se mantienen como conexiones directas entre los dispositivos y los puertos GPIO de la Raspberry Pi. La placa desarrollada busca crear un nodo para la alimentación a través de la bornera denominada POWER.

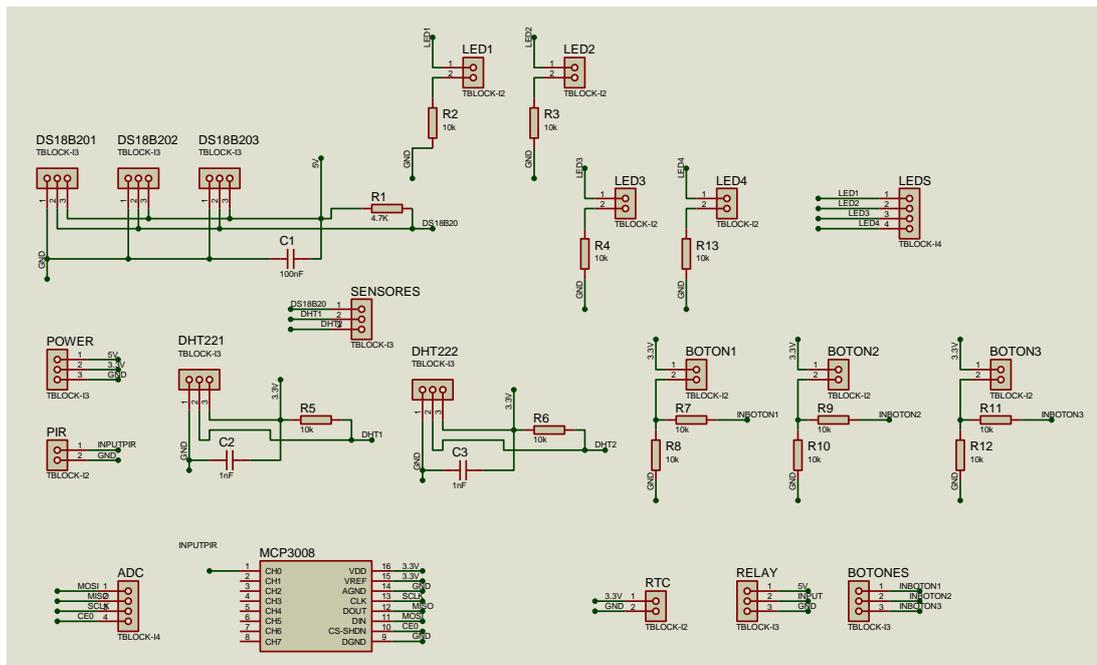


Figura 4.9 Diseño Esquemático de la Placa implementada

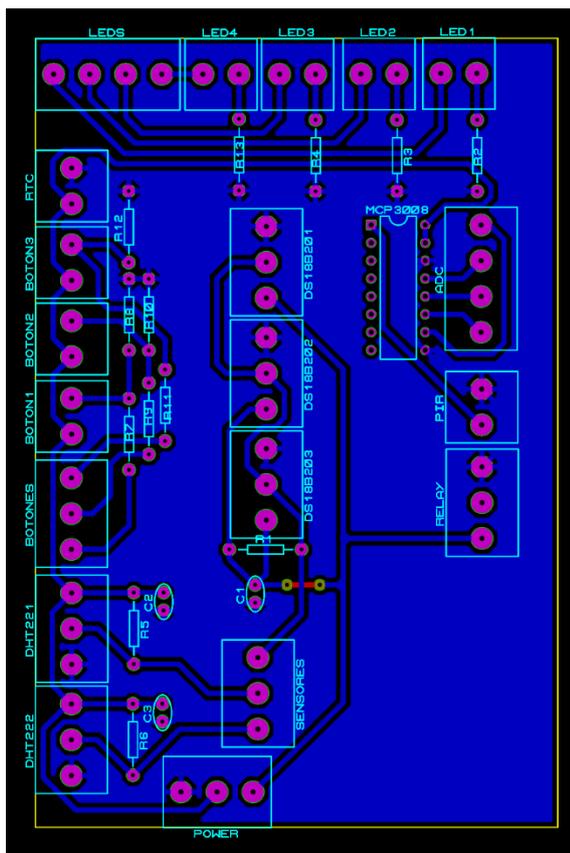


Figura 4.10 Diseño Impreso de Placa PCB

#### 4.4 Algoritmo ejecutado por la programación

El funcionamiento del sistema descrito en este documento consiste en la configuración de los Puertos GPIO de la Raspberry Pi 3 a través de librerías y comandos en lenguaje Python, en conjunto con la Placa de circuito impreso que se ha elaborado y su integración con los sensores descritos, la conversión de datos analógicos y una interfaz amigable con el usuario que a través de botones, leds indicadores y una pantalla LCD podrá interactuar con el prototipo y controlar su funcionamiento.

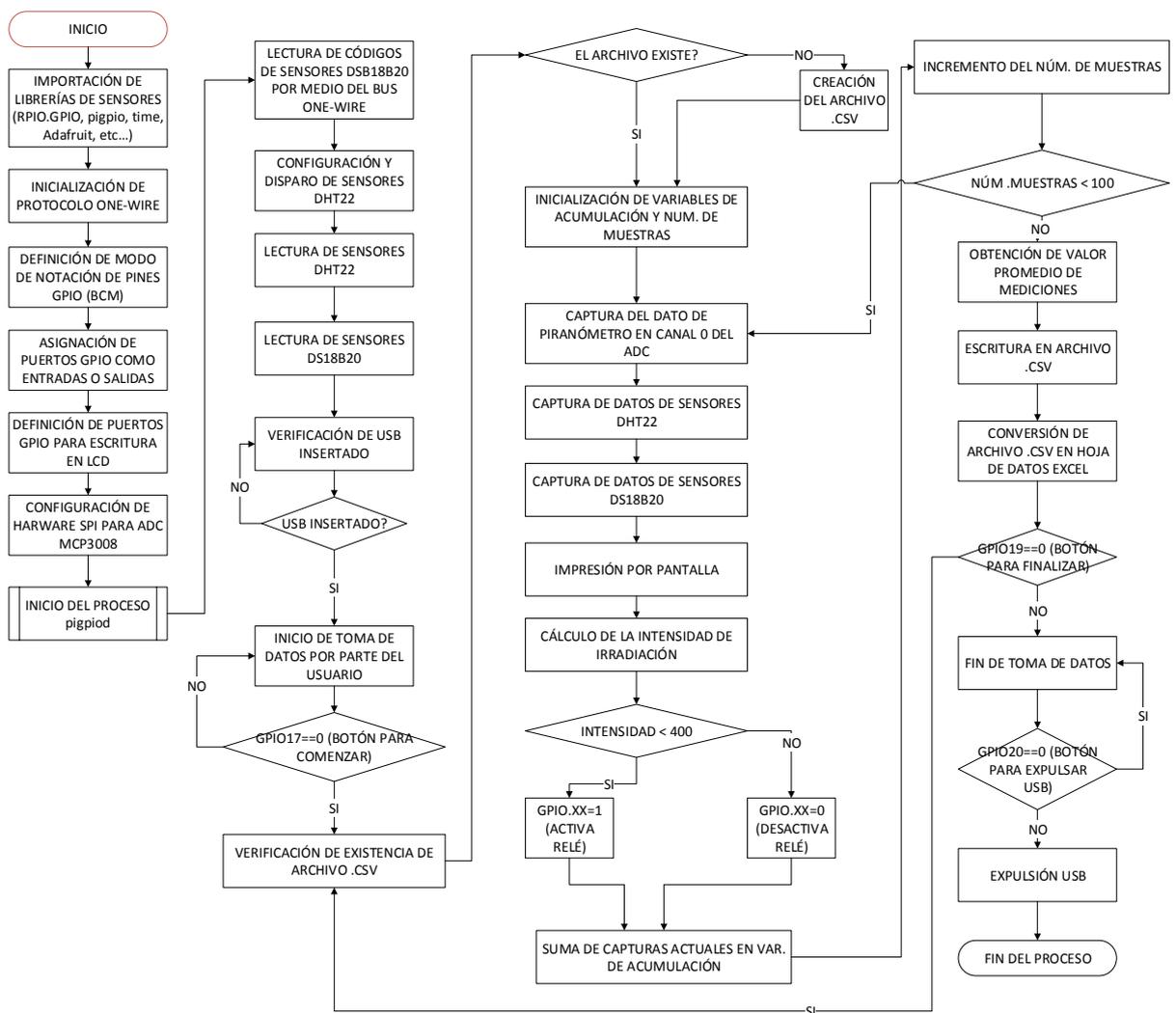
El código implementado en la programación constituye la columna vertebral del sistema propuesto, su algoritmo se describe a continuación.

El sistema operativo cargado en la Raspberry Pi es Raspbian Stretch, que tiene precargado entre sus lenguajes de programación diferentes versiones de Python. La que utilizaremos en nuestro sistema será la versión 2.7 de este lenguaje.

Se descargaron diferentes librerías provistas por los fabricantes para el control del funcionamiento de los sensores y diferentes dispositivos.

Entre las librerías descargadas, tenemos: librería **GPIO**, librería **Adafruit** (que contiene la librería **Adafruit\_DHT**, **Adafruit\_GPIO.SPI** y **Adafruit\_MCP3008**), librería **pyudev**, librería **xlsxwriter**. Además se tuvo que habilitar los protocolos: **1-Wire**, **SPI** e **I2C** a través de la configuración de la Raspberry en su archivo *raspi-config.txt*.

El detalle de los comandos implementados se encuentra entre los anexos de este documento. A continuación se muestra un diagrama de flujo del algoritmo implementado en la programación.



**Figura 4.11 Diagrama de Flujo de la programación implementada**

Se da inicio a la ejecución del código cuando el usuario conecta el equipo a la fuente de alimentación. El algoritmo comienza con la importación de librerías e iniciación de Protocolos de Comunicación, se utiliza el protocolo SPI para el ADC

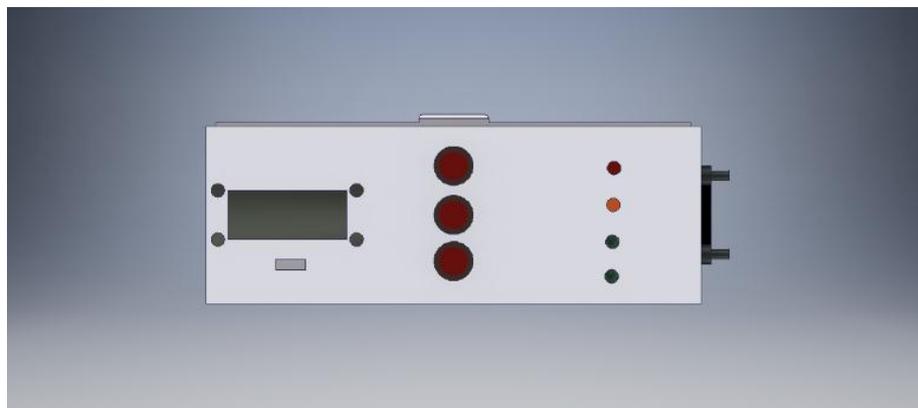
MCP3008 y One-Wire para los sensores DS18B20. Se define la notación para el uso de los puertos GPIO y posteriormente se define los puertos a utilizar como Puertos de Entrada o de Salida.

Previo a la detección del dispositivo USB se inicia la lectura de datos de todos los sensores. Cuando el usuario presiona el botón 1, se crea o edita el archivo el cual se almacenarán las mediciones y se empieza la captura y almacenamiento de los datos. En este punto del proceso, se controla el funcionamiento del relé con el valor de intensidad de irradiación calculado en la programación, luego de la captura del dato del piranómetro.

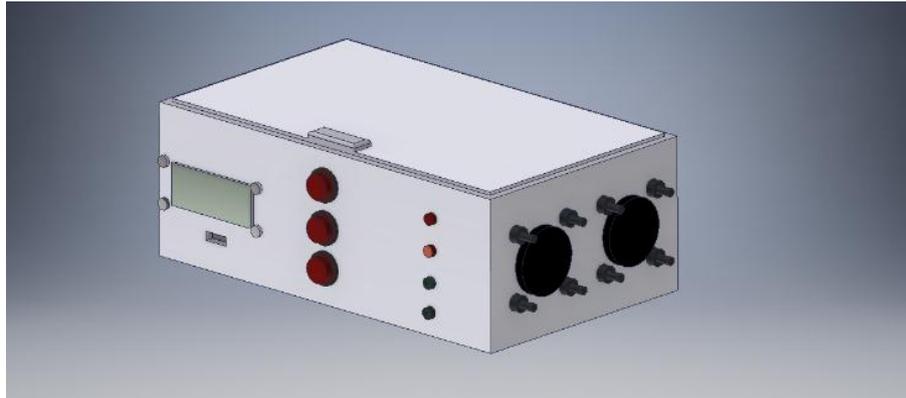
Este proceso continúa hasta que el usuario presione el segundo botón, dando fin a la captura de datos, para luego presionar el tercer botón, con el cual se expulsa el dispositivo extraíble y finaliza el algoritmo programado.

#### **4.5 Implementación de Prototipo Final**

Para implementar el sistema con el modelo descrito en el capítulo anterior, se ha diseñado el prototipo ilustrado en las figuras 4.1 y 4.2.



**Figura 4.12. Plano Frontal del Diseño de la Implementación para Usuario**



**Figura 4.13 Vista del Diseño de la Implementación para Usuario**

La caja contenedora desarrollada tiene como dimensiones 24cm x 15cm x 9cm, está fabricada de material acrílico blanco. En su parte frontal está colocada la pantalla LCD para visualización de datos, el puerto USB mediante el cual el usuario guarda los datos en un dispositivo extraíble, los 3 botones que controlan el funcionamiento del sistema desarrollado y los 4 leds indicadores del estado actual del funcionamiento del equipo. En un costado se han ubicado 2 ventiladores de 5V para controlar la temperatura de la parte interna de la caja. En el otro costado se han hecho pequeños orificios que permiten una mejor ventilación. Dentro de esta caja se ha ubicado la placa de la Raspberry Pi, la placa de borneras desarrollada como conexión de los puertos GPIO y los sensores, el módulo de relé y el módulo de Reloj de tiempo real (RTC).

# CAPÍTULO 5

## 5. PRUEBAS Y RESULTADOS

### 5.1 Pruebas de Campo del equipo desarrollado.

Para validar el funcionamiento autónomo de nuestro sistema electrónico de sensores y adquisición de datos, se realizó una prueba con el equipo desalinizador, como se muestra en la figura 5.1, donde como primer paso se conectó el sistema electrónico al equipo desalinizador y mediante los comandos por botones se inició la toma de datos de los sensores y la posterior adquisición de estos datos.

El sistema estuvo funcionando de forma autónoma durante una jornada completa de 6 horas y 10 minutos sin la presencia de una persona a cargo este proceso de toma de datos, el cual es el objetivo principal del presente proyecto. Para esta prueba puntual no se utilizó las resistencias eléctricas ya que el objetivo principal era obtener valores reales del proceso de desalinización realizado por el equipo y mediante nuestro sistema de sensores, saber qué valores de temperatura, humedad e intensidad de Irradiación tendremos presentes en una jornada normal de trabajo del equipo.



**Figura 5.1 Sistema electrónico integrado al equipo desalinizador**

## **5.2 Procedimiento de las mediciones**

Como esta fue la primera prueba con nuestro sistema incorporado al equipo desalinizador, se realizó las conexiones de los sensores de temperatura y humedad DHT22 y DS18B20, los cuales ya estaban previamente adaptados al equipo desalinizador en los puntos de interés señalados por nuestro cliente. Para futuras mediciones éste paso se deberá obviar ya que el sistema quedará integrado al equipo por medio de estos sensores y de las resistencias eléctricas.

Ya que el piranómetro es de propiedad de nuestro cliente, la conexión de este sensor a nuestro sistema se realiza al inicio de la jornada de trabajado del equipo desalinizador y la desconexión de este se realiza posterior a dicha jornada.

Posterior a esto se realiza la conexión de nuestro sistema por medio de su adaptador a una fuente de corriente de 110V.

Para iniciar la toma de datos se realizan los pasos indicados en el Manual de usuario, que en resumen son:

- Insertar una USB previamente formateada.
- Oprimir el primer botón para iniciar la toma de datos.
- Oprimir el segundo botón para detener la toma de datos.
- Oprimir el tercer botón para expulsar la USB.

Cabe recalcar que, para realizar la toma de datos por medio de nuestro sistema electrónico, el equipo desalinizador debe estar listo para su normal funcionamiento, es decir, con la cantidad de agua adecuada y con las resistencias eléctricas conectadas a la fuente de corriente de 220V, aunque estas entren sólo cuando nuestro sistema las active basándose en la intensidad de Irradiación medida por el piranómetro.

## **5.3 Resultados de las mediciones**

Siguiendo los pasos previamente descritos, obtuvimos los datos que muestra la figura 5.2, los cuales se adquirieron de los sensores cada 10 minutos.

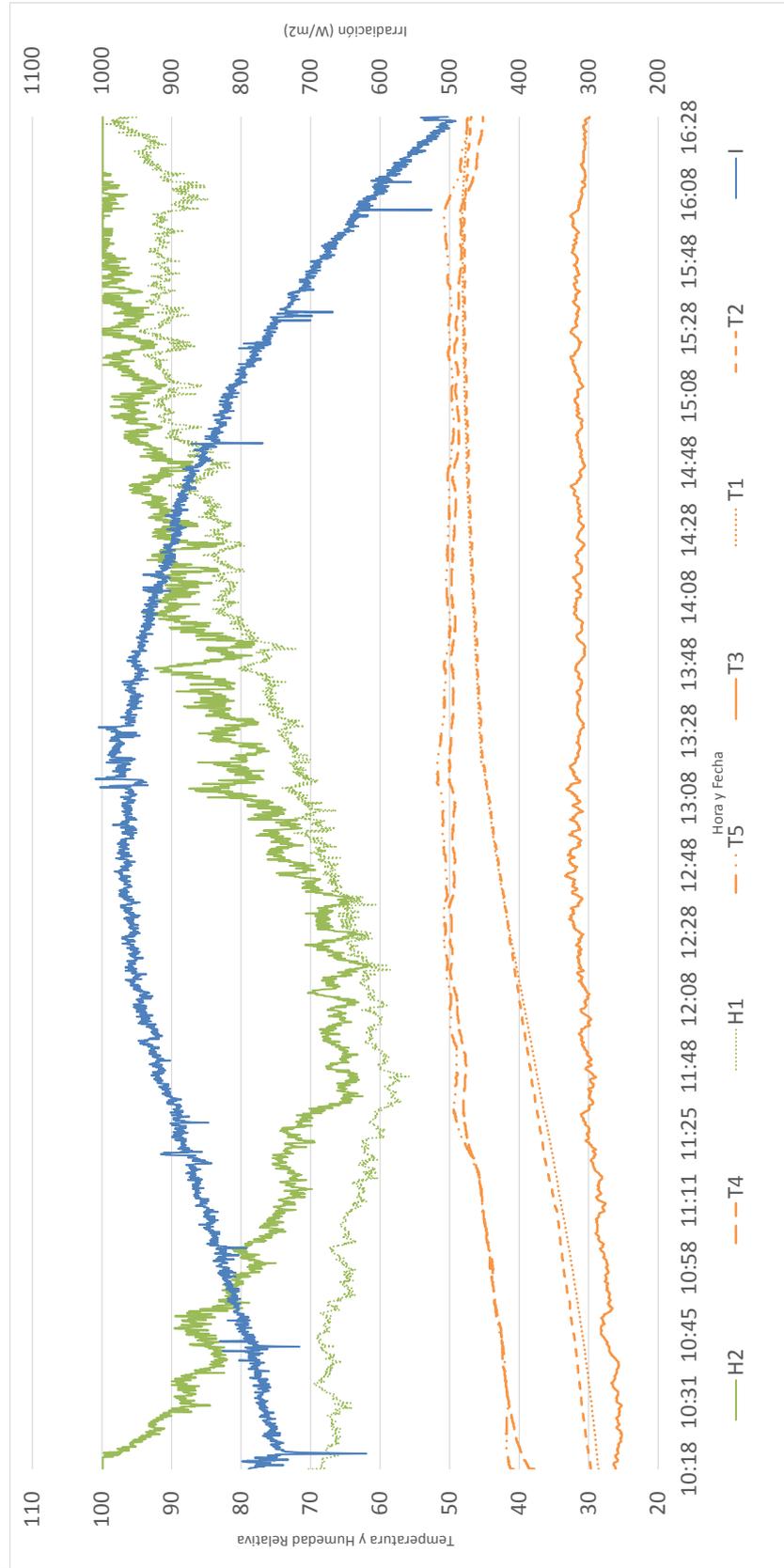
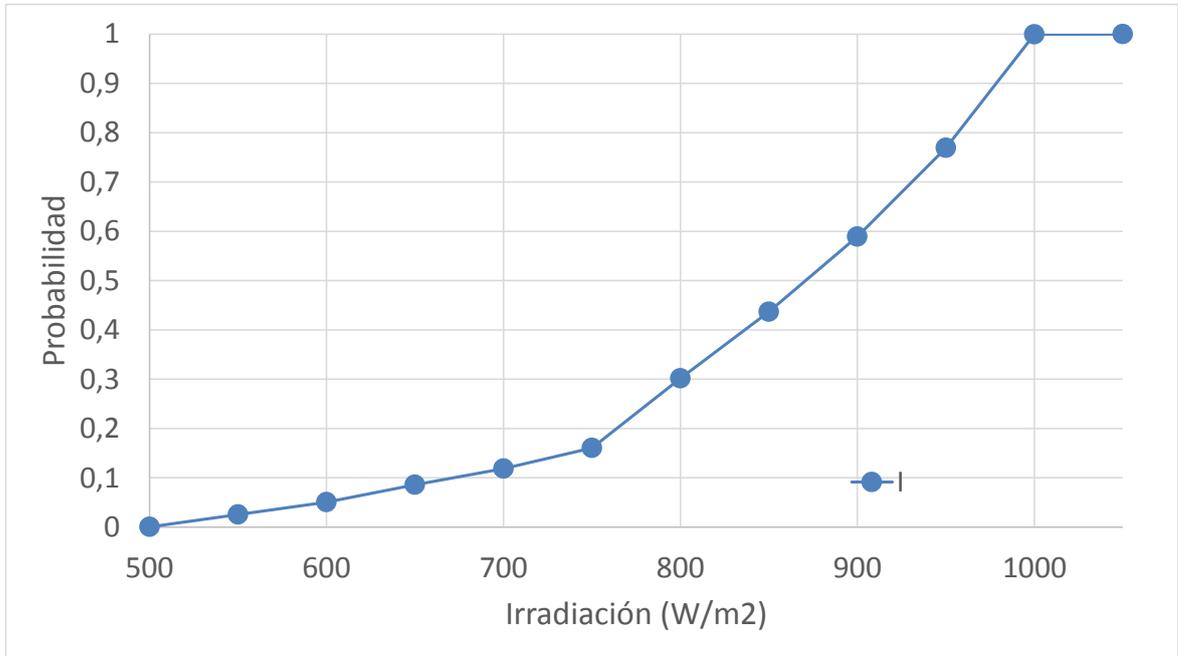
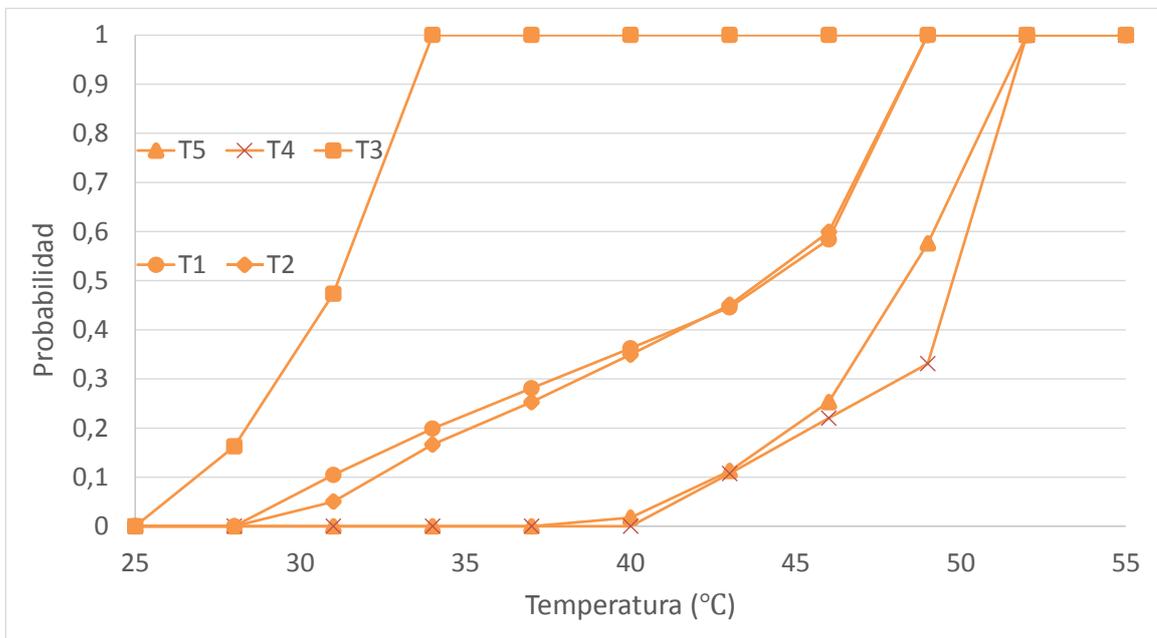


Figura 5.2 Resultados del Comportamiento Térmico con respecto al tiempo

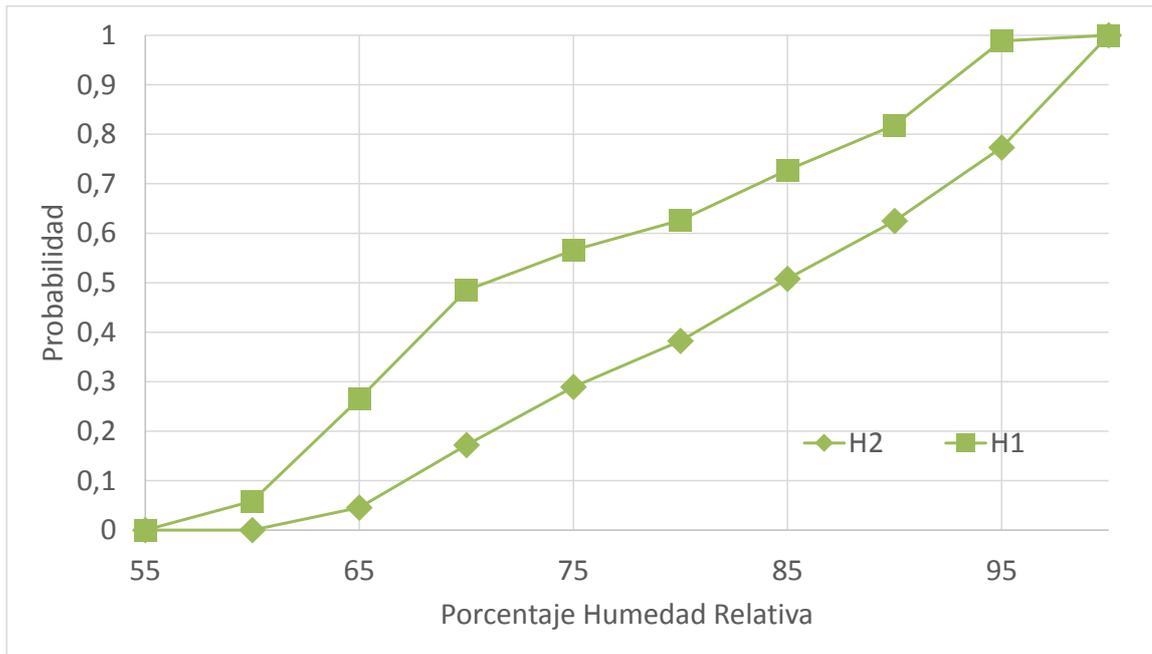
Usando todos estos datos, se realizó los siguientes gráficos estadísticos que se muestran en las figuras 5.2, 5.3 y 5.4 que describen de manera más precisa el comportamiento real del equipo desalinizador en una jornada de trabajo normal sin el uso de las resistencias eléctricas.



**Figura 5.3 Función de Distribución Acumulada de Irradiación.**



**Figura 5.4 Función de Distribución Acumulada de Temperatura**



**Figura 5.5 Función de Distribución Acumulada de Humedad Relativa**

En esta grafica de la figura 5.4 podemos observar la probabilidad de tener ciertas temperaturas durante la jornada de trabajo en diferentes puntos del equipo. Por ejemplo, la temperatura ambiente se mantiene relativamente uniforme durante la jornada, es decir, se tiene un 80% de probabilidad de mantenerse entre 28°C y 32°C.

Se puede apreciar que las temperaturas en el agua y en la superficie de la misma son prácticamente similares teniendo solo un 40% de probabilidades de tener temperaturas entre 46°C y 50°C, las cuales son las óptimas para el proceso.

Así mismo, las temperaturas del vidrio y la del interior del equipo se mantienen similares el 30% del tiempo, mientras que, en el resto de la jornada, la temperatura al interior del equipo es superior por unos 4 o 5°C como observamos en la Figura 5.4.

Analizando la gráfica de la figura 5.5 nos damos cuenta rápidamente que más probable tener valores de porcentaje de humedad relativa en el vidrio del equipo superiores a los que tendremos en el ambiente, además es importante destacar que tendremos valores de porcentaje de humedad relativa del vidrio de 85% o superiores sólo durante un tercio de la jornada según la Figura 5.3-2, este valor aumenta al 50% de la jornada cuando medimos la humedad del ambiente y queremos que se mantenga en un valor de 85% o superior.

Recíproco a este primer análisis, tenemos que existe un 50% de probabilidad de tener un valor 70% o menor de porcentaje de humedad relativa sobre el vidrio del equipo; este valor aumenta a 85% o menos para la humedad del ambiente con la misma probabilidad de 50%.

La irradiación depende directamente del clima de la jornada de trabajo, es decir, no es igual el gráfico probabilístico de una jornada donde el clima fue soleado que una jornada con clima nublado. En este caso se realizó el gráfico de una jornada soleada (caso óptimo), según esto podemos observar en la figura 5.3 que existe un 40% de probabilidad de obtener valores de irradiación superiores o iguales a 900 [W/m<sup>2</sup>], esto es aproximadamente el intervalo de 12:00 del día a 15:00 de la tarde con un cielo despejado.

#### **5.4 Análisis de Resultados**

Como es de esperarse, según la gráfica de la figura 5.2, los valores más elevados de Irradiación se dan alrededor de las 13:00 y 13:30 pm llegando a valores de casi 1000 W/m<sup>2</sup>. Sin embargo, según nuestro gráfico de Función de Distribución Acumulada de Irradiación es poco probable que tengamos es poco probable (menos de 10%) de obtener estos valores óptimos de irradiación durante la jornada de trabajo.

Teniendo en cuenta el requerimiento de nuestro cliente, las resistencias eléctricas se deben activar cuando el valor de irradiación no supere los 700 W/m<sup>2</sup> que según la gráfica de la figura 5.3, es aproximadamente el 20% de la jornada.

Podemos observar de la gráfica de la figura 5.2, que la temperatura de dentro del equipo y en el vidrio superior aumenta de manera mucho más rápida que la temperatura del agua dentro del equipo. Tomando en cuenta esto, observamos que la temperatura en el vidrio y dentro del equipo, alcanza valores promedios de 50°C, teniendo su pico de alrededor 53°C en el intervalo de 30 minutos donde la irradiación está a muy cerca de llegar a los 1000 W/m<sup>2</sup>; mientras que la temperatura del agua como se mencionó anteriormente es notable su lento aumento temperatura, llegando este a su máximo valor prácticamente al concluir la jornada de trabajo (alrededor de las 16:00 pm).

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con la finalidad de entender de una forma mucho más clara el funcionamiento real de cualquier equipo, frecuentemente el usuario hace uso de un Datasheet o grafica de curva característica del mismo, por lo que los datos usados para la fabricación de estas hojas de información lo más precisas posibles.

Para este equipo Desalinizador en específico se realizaban las mediciones de forma manual y con instrumentos analógicos, requiriendo la presencia de una persona o varias personas a cargo de realizar esta tarea durante toda la jornada de trabajo del equipo desalinizador. Nuestra solución está diseñada específicamente para satisfacer completamente las necesidades del cliente, sin embargo, puede ser adaptado mediante la reprogramación de la Raspberry Pi a trabajar con otros tipos de sensores en equipos que realicen procesos diferentes.

Los resultados obtenidos de nuestras mediciones representan de mejor manera el comportamiento real del equipo desalinizador ya que se obvia la presencia humana al realizar las mediciones, es decir, no se tienen pérdidas de ningún tipo por el mal manejo de los instrumentos de medición o por la interacción con el medio dentro y fuera del equipo. Además, nuestro sistema electrónico al trabajar con sensores digitales, tiene una mayor precisión que dispositivos analógicos.

Como propuesta final para la optimización y auto sustentación del equipo desalinizador junto con el sistema electrónico se plantea cambiar las resistencias eléctricas de 220V por unas de 110V, esto para que todo el conjunto pueda funcionar con un par de paneles fotovoltaicos, el cual a su vez servirá para alimentar de energía eléctrica el sistema electrónico de sensores y que todo el proceso sea 100% autónomo.

### 6.1 Conclusiones

- Se ubicaron sensores digitales en el desalinizador de forma permanente para medición con mayor precisión.
- Se convirtió la medición del piranómetro en digital para su almacenamiento.

- Se realizaron tomas de datos durante jornadas de 8 horas seguidas sin la necesidad de estar presente durante todo este tiempo.
- El accionamiento de las resistencias se controló por medio de nuestro equipo en base al dato instantáneo de irradiación, esto implica un uso más eficiente de los recursos energéticos, ya que, si las condiciones climáticas son las deseadas, no serán necesarias.
- Se entregaron datos almacenados en un archivo de Excel para su posterior manipulación.

## **6.2 Recomendaciones**

- Una vez almacenada la información extraída por medio del pendrive, se recomienda formatear el mismo para su reuso en una siguiente jornada de trabajo.
- Aunque éste cuenta con su propio sistema de ventilación el cual mitiga significativamente el calentamiento del equipo, se recomienda no dejar el equipo en lugares donde reciba directamente los rayos solares.
- Revisar periódicamente el interior del sistema electrónico cerciorarse de la no presencia de suciedad u objetos extraños que puedan afectar el normal funcionamiento de este.
- Al momento de llenar de agua el equipo desalinizador, tener mucho cuidado de no mojar el sistema electrónico de sensores.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Acosta, C. and Quiroz, J., "Diseño y Construcción de un Desalinizador Híbrido", Trabajo Final de Graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [2] A. Neethu and A. K. M., "IoT based real time patient monitoring and analysis using Raspberry Pi 3 - IEEE Conference Publication", Ieeexplore.ieee.org, 2017. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8389932/>. [Accessed: 30- Jun- 2018].
- [3] R. Barnes, D. Whale, L. Clay, P. King and L. Lynch, "Use the GPIO", The Official Raspberry Pi Projects Book, no. 1, p. 13, 2015.
- [4] B. Nuttall, A. Scheller and W. Johnson, "GPIO - Raspberry Pi Documentation", Raspberrypi.org, 2018. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/README.md>. [Accessed: 04- Jul- 2018].
- [5] "Arduino - SPI", Arduino.cc, 2018. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>. [Accessed: 08- Jul- 2018].
- [6] M. Grusin, "Serial Peripheral Interface (SPI) - learn.sparkfun.com", Learn.sparkfun.com, 2013. [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>. [Accessed: 08- Jul- 2018].
- [7] "I2C - learn.sparkfun.com", Learn.sparkfun.com, 2013. [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>. [Accessed: 08- Jul- 2018].
- [8] A. Suárez, R. Llugsí, P. Lupera and R. Chango, "Implementación de un Sistema Aéreo de Medición y Almacenamiento de Parámetros Meteorológicos Georreferenciados para Zonas Pequeñas", Revista Politécnica, vol. 39, no. 2, 2017.
- [9] "Raspberry Pi 3 Model B - Specifications", Raspberry Pi Org., 2018. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> [Accessed: 10- Sept- 2018].
- [10] Menjivar, J., "Desalinización solar para consumo humano: Diseño de un desalinizador solar de bajo costo (Solar Desalination for human consumption : Desing

of a low cost solar desalter )”, Trabajo Final de Graduación, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador, 2014.

[11] "Desalación mediante energía solar térmica directa", News Soliclima, 2018. [Online]. Available: <https://news.soliclima.com/divulgacion/solar-termica/desalacion-mediante-energia-solar-termica-directa>. [Accessed: 10- Sept- 2018].

[12] Hermosillo-Villalobos, Juan J. Hermosillo-Villalobos, J. J “Destilación solar”. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Tlaquepaque, Jalisco, 1989.

[13] “Temperature Measurements”, SB-Projects, 2018. [Online]. Available: <https://www.sbprojects.com/projects/raspberrypi/temperature.php> [Accessed: 10- Sept- 2018].

[14] “DS18B20, Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer”, Maxim Integrated [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. [Accessed: 10- Sept- 2018].

[15] “Raspberry Pi: Control Relay switch via GPIO”, Raspberry Pi Tutorials [Online]. Available: <https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-control-relay-switch-via-gpio/> [Accessed: 10- Sept- 2018].

[16] “MCP3008”, Adafruit Tutorials” [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/raspberry-pi-analog-to-digital-converters/mcp3008> [Accessed: 10- Sept- 2018].

[17] “Modelado y Análisis Formal del Protocolo de Comunicación de Sensores One Wire” [Online]. Available: <http://web.fdi.ucm.es/posgrado/conferencias/MariaEmiliaCambroner2017-slides.pdf> [Accessed: 10- Sept- 2018].

[18] “Sensores Digitales” [Online]. Available: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Tutorial/TECNO5.pdf> [Accessed: 10- Sept- 2018].

[19] “Señales Analógicas y Digitales” [Online]. Available: <http://www.sceu.frba.utn.edu.ar/dav/archivo/homovidens/farrell/Proy-FinalSFARRELL/Proy-Final/Simulador/conversion.html> [Accessed: 10- Sept- 2018].

[20] “Introducción a las computadoras de placa reducida” [Online]. Available: <https://uytec.wordpress.com/2017/07/05/introduccion-a-las-sbc-computadoras-de-placa-reducida/> [Accessed: 10- Sept- 2018].