

# **UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA**

## **ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Proyecto de graduación para optar por el grado académico de  
Bachiller en Ingeniería Electrónica

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA PARA LA  
REUTILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA  
FUNCIONAMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

**Estudiante:**

Gerardo Brenes Navarro

**TUTOR:**

Jorge Villalobos Cascante

**Enero, 2023**

## Tabla de contenido

<b>Declaración jurada .....</b>	<b>5</b>
<b>Carta de aprobación del tutor.....</b>	<b>6</b>
<b>Carta de aprobación del lector.....</b>	<b>7</b>
<b>Carta de la empresa .....</b>	<b>8</b>
<b>CENIT .....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de ilustraciones .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de ecuaciones.....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de abreviaturas .....</b>	<b>14</b>
<b>Capítulo I Problema del Proyecto.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Antecedentes y Justificación del Proyecto .....</b>	<b>18</b>
1.2.1 Antecedentes del contexto de la empresa. ....	18
1.2.2 Justificación .....	21
<b>1.3 Definición del problema. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.4 Objetivos de la investigación. ....</b>	<b>24</b>
1.4.1 Objetivo general. ....	24
<b>1.5 Alcances y limitaciones .....</b>	<b>25</b>
1.5.1 Alcances. ....	25
1.5.2 Limitaciones .....	26
<b>Capítulo II Marco Teórico .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Marco conceptual.....</b>	<b>28</b>
2.1.2 Sistema de agua helada .....	28
2.1.3 Torres de enfriamiento.....	29
2.1.4 Disminución de las lluvias en Costa Rica y razonamiento de agua. ....	34
2.1.5 Facturación de agua.....	37
2.2.1 Arduino .....	38
2.2.2 Arduino Mega .....	39
2.2.3 Sensores.....	39
2.2.4 LCD.....	40
2.2.5 Electroválvula o Válvula de solenoide .....	41
2.2.6 Micro bomba de agua con flujo .....	42
2.2.7 Sensor de flujo de agua para placa .....	42
2.2.8 Sensor de gotas de lluvia .....	43
2.2.9 Bases de datos .....	44
2.2.10 Sensor de conductividad.....	45
2.2.11 Módulo para microSD.....	48

2.2.12 RTC 3231.....	49
2.2.13 Módulo Relé .....	51
2.2.14 I2C.....	53
<b>Capítulo III Marco Metodológico .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1 Tipo de investigación .....</b>	<b>55</b>
3.1.1 Enfoque de la investigación.....	56
<b>3.2 Fuentes de información.....</b>	<b>58</b>
3.2.1 Fuentes primarias .....	58
3.2.2 Fuentes secundarias .....	59
3.2.3 Sujeto de la información.....	59
<b>3.3 Técnicas y Herramientas.....</b>	<b>60</b>
3.3.1 Sesiones en profundidad o grupos de enfoque.....	60
<b>3.4 Variables de investigación .....</b>	<b>61</b>
<b>3.5 Diseño de la investigación .....</b>	<b>65</b>
<b>Capítulo IV Diagnóstico .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1 Descripción de la situación actual .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2 Recolección de datos .....</b>	<b>69</b>
4.2.1 Revisión de registros.....	69
4.2.2 Observación .....	70
4.2.3 Entrevista.....	70
<b>Capítulo V Propuesta del Proyecto.....</b>	<b>72</b>
<b>5.1 Aspectos de diseño .....</b>	<b>73</b>
<b>5.2 Prototipo .....</b>	<b>74</b>
5.2.1 Hardware y Software .....	75
5.2.1.2 Encendido .....	76
5.2.1.3 Sensor ultrasónico .....	80
5.2.1.4 Control de válvula de solenoide y bombas de agua .....	84
5.2.1.5 Sensor de flujo de agua .....	90
5.2.1.6 Sensor de gotas de lluvia .....	95
5.2.1.7 Sensor de conductividad.....	98
5.2.1.8 LCD.....	101
5.3 Programación completa .....	106
<b>5.4 Estructura física .....</b>	<b>117</b>
5.4.1 Módulo de control.....	118
5.4.2 Tanques de almacenamiento. ....	121
<b>5.5 Pruebas de funcionamiento .....</b>	<b>123</b>
5.5.1 Nivel del tanque de captación bajo. ....	124
5.5.2 Nivel del tanque de captación lleno. ....	127
5.5.3 Tanque de captación en su límite superior.....	131
5.5.4 Descarga del historial de consumo. ....	134
<b>5.6 Análisis de costo-beneficio.....</b>	<b>138</b>
5.6.1 Materiales.....	138
<b>Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>142</b>
<b>6.1 Conclusiones.....</b>	<b>143</b>

6.2 Recomendaciones .....	145
<b><i>Bibliografía</i></b> .....	<b>146</b>
<b><i>Anexos</i></b> .....	<b>150</b>
Anexo 1 Entrevista .....	151
Anexo 2 Revisión diaria.....	153
Anexo 3 Programación completa .....	154
Anexo 4 Manual de usuario.....	158

# Declaración jurada

## DECLARACIÓN JURADA

Yo Gerardo Brenes Navarro, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 113040020 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de éste acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Diseño de un prototipo de sistema para la reutilización de agua de lluvia para funcionamiento de torres de enfriamiento.

\_\_\_\_\_ es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de San José, a los 24 días del mes de Mayo del año dos mil Veintitres.

GERARDO FRANCISCO BRENES NAVARRO (FIRMA) Firmado digitalmente por GERARDO FRANCISCO BRENES NAVARRO (FIRMA)  
Fecha: 2023.05.24 15:03:26 -06'00'

Firma del estudiante

Cédula: 113040020

# Carta de aprobación del tutor



## CARTA DEL TUTOR

San José, 24 de mayo del 2023

Señores  
Departamento de Registro  
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Gerardo Brenes Navarro, cédula de identidad número 1-1304-0020, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "Diseño de un prototipo de sistema para la reutilización de agua de lluvia para funcionamiento de torres de enfriamiento", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	20
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	19
Total:		100	95

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

JORGE  
VILLALOBOS  
CASCANTE (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
JORGE VILLALOBOS CASCANTE  
(FIRMA)  
Fecha: 2023.05.24 18:24:06  
-06'00'

Ing. Jorge Villalobos Cascante, MSc.  
Cédula de identidad: 1-1185-0467  
Carné colegio profesional: IEL-22656

# Carta de aprobación del lector



## CARTA DEL LECTOR

San José, 21 de JUNIO del 2023

Señores  
Departamento de Servicios Estudiantiles  
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante Gerardo Brenes Navarro, cédula de identidad número 1-1304-0020, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA FUNCIONAMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO*", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

**Mauricio  
Armas  
Sandi**

Firmado  
digitalmente por  
Mauricio Armas Sandi  
Fecha: 2023.06.21  
06:52:16 -06'00'

**Mauricio Daniel Armas Sandí**  
Cédula de identidad: 01-1361-0843  
Carné colegio profesional: IEL-22359

# Carta de la empresa



25 de mayo de 2023

Señores(as)

Universidad Hispanoamericana

Yo José Mario Ramírez Venegas, cédula 4-0218-0303, encargado del área Gestión de Centros de Datos de la empresa Electrotécnica, por este medio hago constar de que el proyecto titulado: Diseño de un prototipo de sistema para la reutilización de agua de lluvia para funcionamiento de torres de enfriamiento; fue desarrollado por el estudiante Gerardo Brenes Navarro, cédula de identidad 1-1304-0020, cumpliendo los requisitos y objetivos planteados. El implementar el prototipo por Gerardo Brenes, nos facilitará en gran medida la valoración y selección de sistemas para la reutilización de agua de lluvia para los diferentes clientes actuales y futuros. Esto generará un impacto económico y de imagen positivo.



40218 0303

Atentamente.

Ing. José Mario Ramírez  
Ced. 4-0218-0303



**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA  
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA  
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, Costa Rica, 21 de junio de 2023

Señores:  
Universidad Hispanoamericana  
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Gerardo Brenes Navarro con número de identificación 113040020 autor (a) del trabajo de graduación titulado DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA FUNCIONAMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar por el título de Bachillerato Ingeniería Electrónica; SI autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

GERARDO FRANCISCO  
BRENES NAVARRO (FIRMA)

Firmado digitalmente por GERARDO  
FRANCISCO BRENES NAVARRO (FIRMA)  
Fecha: 2023.06.21 10:52:31 -0600

Firma y Documento de Identidad

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Diagrama Causa- Efecto.....	23
Ilustración 2 Visualización en 3D de los equipos y componentes Sistema de enfriamiento.....	29
Ilustración 3 Torre de enfriamiento de tiro inducido.....	32
Ilustración 4 Torre de tiro forzado .....	33
Ilustración 5 Aridez promedio y aridez extrema en Costa Rica, 1982-2019 .....	34
Ilustración 6 Proyección (A) corto plazo (2010-2039), (B) mediado plazo (2040-2069) y (C) largo plazo (2070-2099) del cambio de lluvia media anual con respecto a la climatología (1970-2000).....	35
Ilustración 7 Facturación por mes en colones del consumo de agua de torres de enfriamiento.....	37
Ilustración 8 Arduino Mega.....	39
Ilustración 9 Pantalla LCD 16X2 .....	40
Ilustración 10 Válvula de solenoide típica de acción rápida .....	41
Ilustración 11 Micro bomba de agua con flujo de 80-120 l/H .....	42
Ilustración 12 Sensor de flujo de agua .....	43
Ilustración 13 Sensor de gotas de Lluvia.....	43
Ilustración 14 Sensor de temperatura .....	47
Ilustración 15 Módulo microSD para Arduino.....	48
Ilustración 16 DS3231 .....	51
Ilustración 17 Módulo Relé.....	52
Ilustración 18 I2C .....	53
Ilustración 19 Situación actual Fuente Elaboración propia .....	67
Ilustración 20 Adaptador conectado a Arduino .....	76
Ilustración 21 Diagrama de flujo encendido .....	77
Ilustración 22 Circuito de encendido.....	77
Ilustración 23 Configuración Pull-down.....	78
Ilustración 24 Sensor ultrasónico en el tanque de agua y funcionamiento del sensor....	81
Ilustración 25 Diagrama de flujo sensor ultrasónico .....	82
Ilustración 26 Diagrama de conexiones sensor ultrasónico .....	83
Ilustración 27 Control de válvulas y bombas.....	85
Ilustración 28 Diagrama de flujo prototipo .....	86
Ilustración 29 Control de válvulas solenoides y bombas.....	87
Ilustración 30 Sensor de flujo de agua .....	91
Ilustración 31 Flujograma del sensor de flujo.....	92
Ilustración 32 Circuito de sensor de flujo .....	93
Ilustración 33 Sensor de gotas de lluvia .....	95
Ilustración 34 Diagrama de flujo sensor de gotas de agua.....	96
Ilustración 35 Conexiones del sensor de gotas de agua.....	97
Ilustración 36 Sensor de conductividad .....	99
Ilustración 37 Diagrama de flujo sensor de conductividad.....	99
Ilustración 38 Conexiones Sensor de conductividad .....	100
Ilustración 39 LCD 16x2 I2C .....	101

Ilustración 40 Diagrama de flujo LCD.....	102
Ilustración 41 Conexiones LCD 16 x 2 .....	103
Ilustración 42 Diagrama de flujo parte 1 .....	107
Ilustración 43 Diagrama de flujo parte 2 .....	109
Ilustración 44 Diagrama de flujo parte 3 .....	111
Ilustración 45 Diagrama de flujo parte 4 .....	112
Ilustración 46 Diagrama de flujo parte 5 .....	114
Ilustración 47 Diagrama de flujo parte 6 .....	116
Ilustración 48 Prototipo .....	117
Ilustración 49 Módulo de control .....	118
Ilustración 50 LED y LCD .....	119
Ilustración 51 Partes del prototipo.....	120
Ilustración 52 Válvulas de solenoide .....	120
Ilustración 53 Tanque de almacenamiento.....	121
Ilustración 54 Sensor de lluvia.....	122
Ilustración 55 Sensores en el tanque de captación .....	122
Ilustración 56 Bomba 2 .....	123
Ilustración 57 Llenado de la bandeja de la torre.....	123
Ilustración 58 Prueba 1 Medición del tanque .....	124
Ilustración 59 Prueba 1 Conductividad y estado de lluvia.....	125
Ilustración 60 Prueba 1 Módulos de relés .....	126
Ilustración 61 Prueba 1 Módulo de relés .....	126
Ilustración 62 Prueba 1 Flujo de agua.....	127
Ilustración 63 Prueba 2 Nivel de tanque .....	128
Ilustración 64 Prueba 2 Sensores de conductividad y estado de lluvia.....	129
Ilustración 65 Prueba 2 Módulo de sensor de conductividad y lluvia.....	129
Ilustración 66 Prueba 2 Módulo de dos relés.....	130
Ilustración 67 Prueba 2 Módulo de 4 relés .....	130
Ilustración 68 Prueba 2 Flujo de agua desde el tanque de captación .....	131
Ilustración 69 Prueba 3 tanque de captación límite superior.....	132
Ilustración 70 Prueba 3 Indicadores de conductividad y de lluvia .....	133
Ilustración 71 Prueba 3 Módulo de 4 relés .....	133
Ilustración 72 Prueba 4 memoria SD fecha 2006.....	135
Ilustración 73 Prueba 4 memoria SD fecha 2023.....	135
Ilustración 74 Medición de agua.....	136
Ilustración 75 Extracción de SD .....	136
Ilustración 76 Archivo creado por el prototipo.....	137
Ilustración 77 Datos de la memoria SD.....	137

Índice de tablas

Tabla 1 Ejemplo base de datos .....44  
Tabla 2 Variables de investigación .....64  
Tabla 3 Etapas del proyecto .....65  
Tabla 5 Registro de consumo de agua 2022 .....69  
Tabla 7 Funcionamiento prueba 1 .....127  
Tabla 8 Funcionamiento prueba 2 .....131  
Tabla 9 Funcionamiento prueba 3 .....134  
Tabla 10 Costo de materiales .....139  
Tabla 11 Costos de implementación .....140  
Tabla 12 Costo Total del proyecto .....140

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Ley de Ohm .....46  
Ecuación 2 Resistencia especifica.....46  
Ecuación 4 Perdidas de agua en una torre de enfriamiento.....68  
Ecuación 5 Calcula de la resistencia de un LED .....79

## Lista de abreviaturas

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memoria de sólo lectura Eléctricamente programable y borrrable).

GND: Ground (Tierra).

LCD: Liquid Crystal Display (Pantalla de cristal líquido).

LED: Light-Emitting Diode (diodo emisor de luz).

MISO: Máster Input Slave Output (Maestro de salida, esclavo de entrada).

MOSI: Máster Output Slave Input (Entrada de esclavo, salida maestra).

SD: Secure Digital (seguro digital).

V: Volt (Voltio).

VCC: Continuous current voltage (Voltaje Corriente Continua).

UPS: Uninterruptible Power Supply.

TIER: Tiene origen inglés y significa “capa” o “nivel”.

PLC: Sus siglas significan controlador lógico programable (Programmable Logic Controller– PLC).

BMS: Building Management System, sistema de gestión de edificios.

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

GAM: Gran Área Metropolitana.

PWM: Son las siglas de Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso).

SDHC: Secure Digital High Capacity (Seguro digital de alta capacidad).

SCLK: Serial clock (Reloj serial).

USB: Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie).

SPI: Serial Peripheral Interface (Interfaz Periférica Serial).

## Capítulo I Problema del Proyecto



## 1.1 Introducción

El proyecto titulado Diseño de un sistema para la reutilización de agua de lluvia para funcionamiento de torres de enfriamiento, tiene el propósito de generar una solución que permita reutilizar el agua de lluvia en las torres de enfriamiento, propiamente en un sistema de agua helada.

Este desarrollo consiste en elaborar un prototipo de un sistema de agua helada simulando a uno actual instalado en un centro de datos. A este prototipo le serán incorporados un tanque de almacenamiento de agua de lluvia con distintos sensores colocados estratégicamente para su correcta operación. El sistema tendrá electroválvulas para el control de llenado y vacío, así como un sensor de agua para detectar la lluvia, entre otros.

Para el control químico se debe tomar en cuenta la conductividad del agua de lluvia, además, se debe contar con un medido de agua, para determinar la cantidad de líquido que pasa del tanque a la torre de enfriamiento y tener un historial de este, se podrá visualizar y tener un monitoreo de la cantidad de litros, nivel de los tanques y la conductividad indicada.

Este prototipo será de gran ayuda para exponerlo a cliente y posibles que cuenten con un sistema de agua helada beneficiándolos económicamente por el ahorro de consumo y ambientalmente también será de ayuda cuando se tenga escasez del líquido.

## 1.2 Antecedentes y Justificación del Proyecto

### 1.2.1 Antecedentes del contexto de la empresa.

Electrotécnica inició operaciones en 1975 de la mano, visión, liderazgo y de Fernando Hangen, su fundador. Los primeros pasos de la compañía fueron en la venta de UPS en Costa Rica, posteriormente la firma consolidó su participación en el mercado y dirigió sus recursos y visión de negocio en abrir las fronteras, por ejemplo, en Nicaragua desde el año 2000.

Lo que en un inicio se limitaba a la comercialización de UPS, evolucionó hacia la disponibilidad de aires acondicionados de precisión y tocó las puertas en El Salvador para el año 2010. El siguiente destino fue Guatemala (2019), país con la mira en soluciones más complejas y que ha venido repuntando, con un crecimiento sostenido.

En estos 4 países ofrece soluciones llave en mano para centros de datos y otras aplicaciones de misión crítica, entre ellas: centros de datos tradicionales, prefabricados, tipo Edge y otras relacionadas con telecomunicaciones. Parte del portafolio de servicios incluye inteligencia en sistemas de gestión con edificios y ciudades inteligentes e infraestructura industrial.

Un tercer eje se relaciona con la integración de infraestructura que incluye climatización, calidad de energía, distribución de potencia, mediana tensión, ambiente controlado, gerenciamiento de facilidades, trasiego de fluidos y edificaciones y arquitectura.

Estos tres ejes de soluciones integrales cuentan con el amplio respaldo de 4 divisiones de trabajo que se relacionan con servicios, equipos, productos electromecánicos y logística y de esta forma, conforman un robusto catálogo de productos y soluciones.

La bandera de la apertura ha sido la innovación, con completas y variadas soluciones para clientes de diferentes sectores, entre ellos servicios, banca y finanzas, tecnología, educación, telecomunicaciones, textil, comunicaciones, aeronáutica, seguros, sector médico, alimenticio, agrícola, de manufactura, construcción y educación, entre otros. Además, la empresa está comprometida con certificaciones de excelencia, entre ellas el sistema de calificación TIER, desarrollado por el Uptime Institute en Estados Unidos, para clasificar la fiabilidad de los centros de datos.

En Electrotécnica ha marcado marcando un hito el construir centros de datos de este tipo en diversas industrias como banca, gobierno, servicios, tecnología, hotelería, industrial, hospitalaria, comercial y de transporte para garantizar la continuidad del negocio de sus clientes. negocio con operación eficiente 24/7 los 365 días del año. Es la primera y única empresa de Centroamérica en construir un centro de datos con el último nivel de categoría TIER4, otorgado por Uptime Institute.

### Misión

Somos expertos en asegurar la continuidad de negocios críticos con soluciones integrales e innovadoras. (Consultado 20/2/23, desde [www.Electrotecnica.com](http://www.Electrotecnica.com)).

## Visión

Ser el referente en Latinoamérica en la gestión de soluciones tecnológicas y sostenibles. (Consultado 20/2/23, desde [www.Electrotecnica.com](http://www.Electrotecnica.com)).

## Valores corporativos

- Compromiso con la excelencia y la innovación
- Acompañamiento continuó
- Pasión por servir
- Sinergias de equipo
- Lealtad en las relaciones. (Consultado 20/2/23, desde [www.Electrotecnica.com](http://www.Electrotecnica.com)).

Durante el tiempo que la empresa ha mantenido operaciones en el país, se han importado torres de enfriamiento para los sistemas de refrigeración, dicha importación es de suma relevancia para la operación de la empresa, ya que de la calidad de las torres depende en gran manera la confiabilidad de los equipos de enfriamiento para la climatización de los centros de datos.

Actualmente las torres de enfriamiento son implementadas en zonas donde se tiene agua no tratada (no apta para el consumo humano) para el funcionamiento, sin embargo, en Costa Rica no se cuenta con un sistema de este tipo, toda el agua que es distribuida y por lo tanto utilizada en las torres es tratada.

### 1.2.2 Justificación

La implementación de este proyecto beneficiará tanto a la empresa como a los clientes que ya cuenten con una torre de enfriamiento o que quieren adquirir una, esta mejora en el equipo ayudará a incrementar la eficiencia, ya que se reutiliza el agua de lluvia para su funcionamiento, es una nueva herramienta que facilita el manejo de agua que se pierde después de una lluvia, esto beneficiando la facturación que se le paga a la compañía y también el impacto al medio ambiente.

Asimismo, el dueño de una torre de enfriamiento estará previniendo una escasez de agua en un corto plazo, ya que según indica el plan nacional de adaptación al cambio climático en un mediano plazo habría una disminución (10% al 30%) de lluvias en el valle Central, Cordillera Volcánica Central, Fila de Matama y Cordillera de Talamanca. (Consultado 20/2/23 disponible en [https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP\\_Documento-2022-2026\\_VC.pdf](https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP_Documento-2022-2026_VC.pdf))

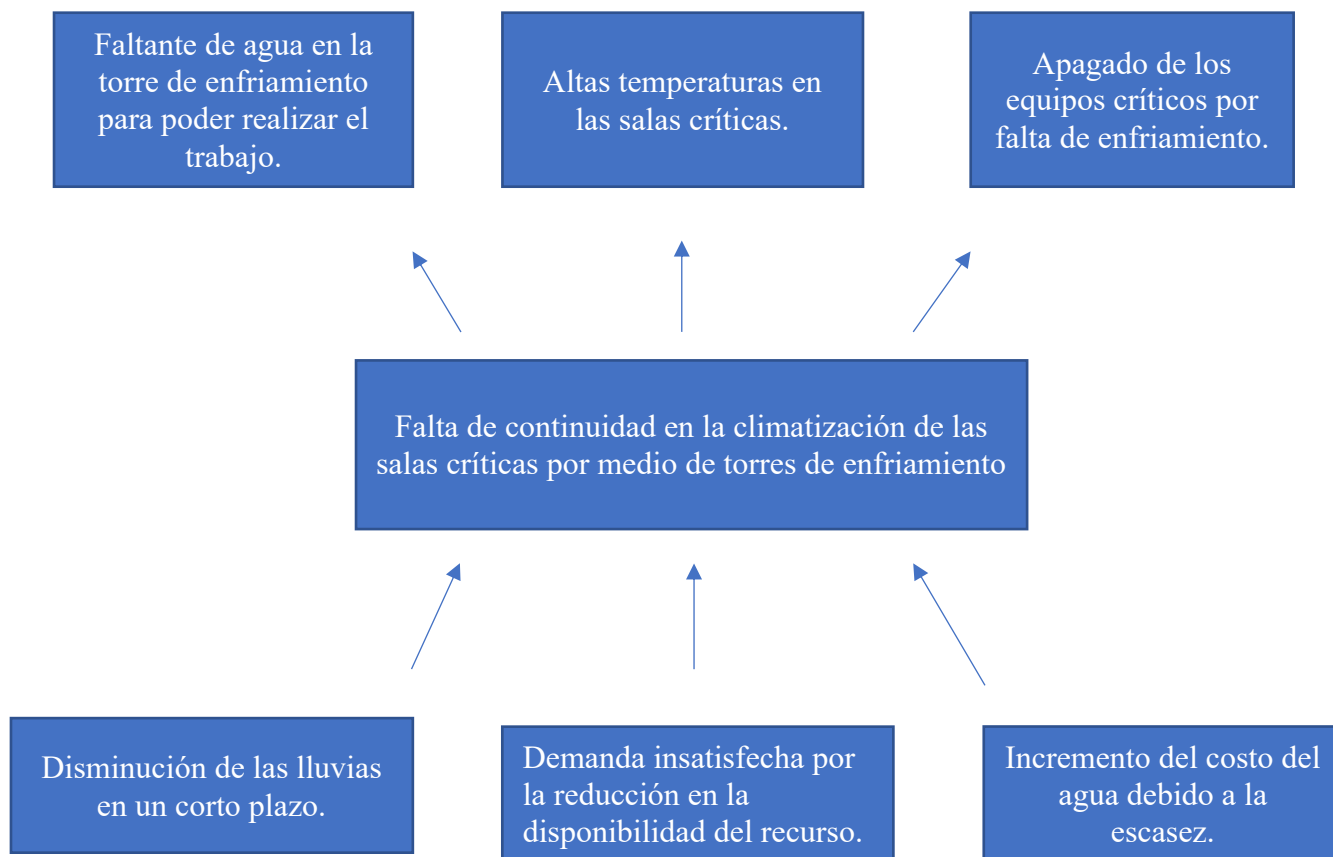
### 1.3 Definición del problema.

El giro actual de los negocios a nivel internacional implica que los servicios de industria, salud, centros de datos, entre otros, estén funcionales las 24 horas de los 365 días al año, por lo cual es sumamente importante que no existan incrementos de las temperaturas configuradas en los equipos y que puedan provocar salidas de servicio de estos.

Las torres de enfriamiento son parte del sistema de climatización para los equipos críticos que se requieren para brindar los servicios mencionados, por ende, la principal función de estas es realizar la transferencia de calor al ambiente por medio del agua y entregar el agua a una temperatura fría según la configuración definida.

Las temperaturas en las salas críticas deben estar entre de los 10° C y 15° C, dependiendo del aplicativo que se requiera, es muy importante mantener la temperatura de los equipos para su buen funcionamiento y que no se sufrían caídas o daños en los componentes electrónicos.

Para Electrotécnica es sumamente importante tener disponibilidad de las torres de enfriamiento cumpliendo con los estándares que son solicitados por los clientes esto brinda tranquilidad a la operación continua. En el siguiente diagrama de Causa-Efecto se muestran gráficamente las causas del problema actual.



*Ilustración 1 Diagrama Causa- Efecto*

*Fuente Elaboración propia.*

El proyecto consiste en realizar una serie de modificaciones a la red de agua pluvial desviando el agua de lluvia que se recoge de la azotea hacia un tanque de almacenamiento, monitoreando los niveles del tanque y por medio de electroválvulas, bombas y sensores enviar el agua a la torre de enfriamiento, manejando un historial del agua entregada al equipo y un control de la conductividad por medio de un LCD.

El planteamiento del problema es:

¿Cómo aprovechar el recurso de agua de lluvia no utilizado para reducir el costo de operación en los equipos de enfriamiento, manteniendo los equipos críticos con la climatización idónea para su operación?

## 1.4 Objetivos de la investigación.

### 1.4.1 Objetivo general.

- Diseñar un prototipo de sistema de monitoreo y control para un tanque de captación de agua de lluvia, que permita suplir las necesidades de los clientes que utilizan las torres de enfriamiento que provee Electrotécnica.

### 1.4.2 Objetivos específicos.

- Analizar las características y las necesidades de las torres de enfriamiento actualmente instaladas.
- Identificar el método de llenado actual de agua potable que tienen los equipos para seleccionar el tipo de tecnología a utilizar en el desarrollo del proyecto.
- Construir y programar un prototipo capaz de simular los diferentes escenarios, que permita conocer los dispositivos que se requieren para el proyecto.
- Implementar una interfaz de usuario mediante una pantalla LCD que permita al usuario la visualización y monitoreo del funcionamiento del sistema.



- Elaborar un manual de funcionamiento para el uso del sistema.
- Evaluar el costo-beneficio del proyecto como solución al problema planteado.

## 1.5 Alcances y limitaciones

### 1.5.1 Alcances.

- Básicamente el enfoque del proyecto es la captación de agua de lluvia que se está perdiendo para entregarla como suministro de las torres de enfriamiento, propiciando un ahorro en el consumo de agua.
- El prototipo tendrá los sensores de nivel necesarios para identificar si el tanque se encuentra vacío o lleno, en este paso se permitirá la apertura o cierre de electroválvulas para que el agua potable o del tanque de captación llegue a las torres de enfriamiento, cuando el tanque se encuentre lleno realizará la apertura para que el agua de lluvia baje al desagüe.
- El sistema generará un historial de la cantidad de litros suministrados por el tanque de agua de lluvia a las torres de enfriamiento, evidenciando el ahorro provocado por el sistema.
- Para este prototipo se pretende realizar un circuito que sea fácil de manipular tanto para los técnicos con los clientes que cuenten con una torre de enfriamiento, además se desarrollará una interfaz de usuario que sea amigable para el mismo y que le permita visualizar el estado del tanque, la conductividad y la cantidad de litros suministrada.

### 1.5.2 Limitaciones

- Electrotécnica es una compañía a nivel centroamericano, esto quiere decir, que en otros países de la región también se distribuyen torres de enfriamiento, sin embargo, este proyecto será realizado solo para los laboratorios ubicados en Costa Rica.
- Los estudios realizados por diferentes entes indican los porcentajes estimados en el cambio climático que van a afectar la cantidad de lluvia en el país, pero esto puede variar en el tiempo para este proyecto se contempló el corto plazo.
- El desarrollo del proyecto se realizará con los sistemas microcontroladores, los tiempos que serán medidos poseen una precisión de milisegundos debido a la velocidad de procesamiento de datos que manejan estos dispositivos, sin que esto signifique que no se podrían utilizar plataformas basadas en PLC o sistemas de monitoreo BMS.

## Capítulo II Marco Teórico

## 2.1 Marco conceptual

Para desarrollar este proyecto se requiere conocer conceptos de enfriamiento relacionados al sistema, en este caso específicamente en los sistemas de enfriamiento por agua helada, estos se abarcan a continuación.

### 2.1.2 Sistema de agua helada.

Un sistema de agua helada consiste en utilizar agua como medio de transferencia de calor. El agua es distribuida por una red de tuberías a los serpentines de cada manejadora de aire, fan coil, entre otros, los cuales utilizan el agua helada para retirar calor y humedad del espacio a acondicionar.

El agua es enfriada por un chiller (enfriador de agua) el cual se basa en el ciclo de refrigeración convencional, contando con un compresor, condensador y evaporador. Existen dos tipos de chillers (enfriadores de agua) los enfriados por aire y los enfriados por agua los cuales utilizan torres de enfriamiento.

Al tener un sistema de agua helada podrá acondicionar grandes áreas de manufactura, oficinas, centros comerciales de una manera independiente, así como reducir el consumo de energía eléctrica proveniente del acondicionamiento del aire.

Otro de los beneficios de un sistema de agua helada para el acondicionamiento de aire es tener el equipo de refrigeración en una planta central, reduciendo los trabajos de mantenimiento, así como los riesgos de tener una fuga de refrigerante en áreas ocupadas poniendo en riesgo la salud de sus empleados y clientes.

A continuación, se muestra una imagen de los equipos y componentes de un sistema de enfriamiento:

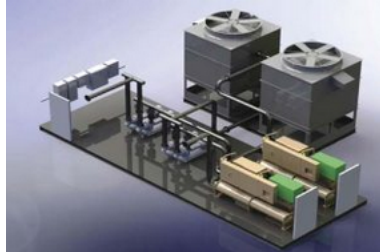


Ilustración 2 Visualización en 3D de los equipos y componentes Sistema de enfriamiento.

Fuente: <https://iaase.com.mx/servicios/sistemas-de-agua-helada-para-acondicionamiento-de-aire-en-mexico/>.

### 2.1.3 Torres de enfriamiento

Las torres de refrigeración o torres de enfriamiento de agua son equipos que basan su funcionamiento en el principio del enfriamiento evaporativo, que se aplica en la industria desde hace más de 100 años. El enfriamiento evaporativo es un proceso natural que utiliza el agua como refrigerante y que se aplica para transmitir a la atmósfera el calor excedente de diferentes procesos y máquinas térmicas. No debemos confundirlo con el funcionamiento de la refrigeración adiabática.

A grandes rasgos, los equipos de enfriamiento evaporativo, como las torres de refrigeración, incorporan: una superficie de intercambio de calor y masa humedecida mediante un dispositivo de distribución de agua, un sistema de ventilación (natural o forzada) encargado de favorecer y, en su caso, forzar el paso del aire ambiente a través del relleno de intercambio de calor y masa, y diferentes componentes auxiliares

tales como una balsa colectora de agua, bomba de recirculación, separadores de gotas e instrumentos de control.

A continuación, se explica el paso a paso el proceso de funcionamiento de una torre de refrigeración:

El funcionamiento de una torre de refrigeración se basa en los principios de la refrigeración evaporativa:

Las torres de refrigeración enfrían el agua caliente pulverizándola en forma de lluvia de gotas que caen en un entramado o relleno intercambiador (un conjunto de finas láminas de PVC colocadas de forma específica) donde se refrigeran por medio de una corriente de aire, que fluye en sentido contrario, cayendo el agua ya refrigerada a un depósito que la recoge y que, en su caso será distribuida por un circuito.

El aire entra por las aberturas inferiores que se encuentran por encima del depósito de agua y atraviesa la torre de abajo a arriba. Esta entrada de aire puede producirse de forma natural en las torres de tiro natural o de forma forzada a través de ventiladores estratégicamente colocados, tal y como explicaremos más adelante cuando hablemos de los tipos de torres que existen.

La transferencia de calor se produce cuando el agua (a mayor temperatura) y el aire (a menor temperatura) confluyen en el relleno de la torre, en el que tiene lugar el intercambio térmico entre los dos fluidos. Este relleno tiene la finalidad de aumentar la superficie y el tiempo de contacto entre el aire y el agua fomentando la eficiencia del

enfriado. Al evaporarse, el agua toma el calor que necesita del resto del agua circulante, enfriándola.

En este proceso se evapora aproximadamente un 1% del caudal total de agua por cada 7 °C de refrigeración. Esta agua que sale de la torre evaporada es filtrada a través del llamado "separador de gotas". Este es uno de los elementos más importantes para la seguridad de una torre de refrigeración, ya que evita el riesgo de que agua contaminada por la bacteria Legionella salga libremente al exterior. Este elemento, que cuenta con pérdidas inferiores al 0.002%, reduce de manera eficiente la expulsión de agua a la atmósfera tal como dicta la norma UNE 100030/2017. Según esta norma y por seguridad, los separadores de gotas deben ser sustituidos cada 10 años.

El resto del agua refrigerada se deposita en una balsa que la envía a un circuito que empleará esta agua refrigerada en distintas aplicaciones (climatización, unidades de tratamiento de aire, procesos industriales.)

### 2.1.3.1 Tipos de torres de enfriamiento

Según su diseño, se encuentra distintos tipos de torres de refrigeración o enfriamiento. La diferencia fundamental entre unas y otras radica en la forma en la que introducen el aire en la torre para refrigerar el agua, que puede ser de forma natural o forzada mediante ventiladores.

### 2.1.3.1.1 Torres de enfriamiento de tiro natural

El flujo del aire necesario se obtiene como resultado de la diferencia de densidades, entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre, por lo que utilizan chimeneas de gran altura para obtener el tiro deseado. Debido a las grandes dimensiones de estas torres se utilizan flujos de agua de más de 200.000gpm.

### 2.1.3.1.2 Torre de enfriamiento de tiro inducido

En este tipo de torres, el aire se succiona mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre. Son las más utilizadas porque resultan más eficientes que otros modelos. El proyecto se basa en este tipo de torres.

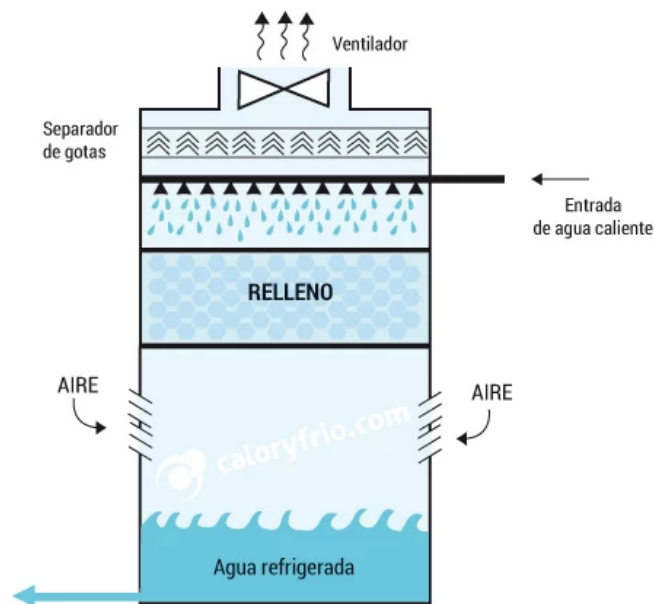


Ilustración 3 Torre de enfriamiento de tiro inducido.

Fuente: <https://0grados.com/sustentabilidad-sistemas-abiertos-agua-helada/>



### 2.1.3.1.3 Torres de tiro forzado

El aire es forzado por un ventilador situado en la parte inferior de la torre y se descarga por la parte superior. Este tipo de torres resultan menos eficientes, ya que la velocidad de descarga es menor.

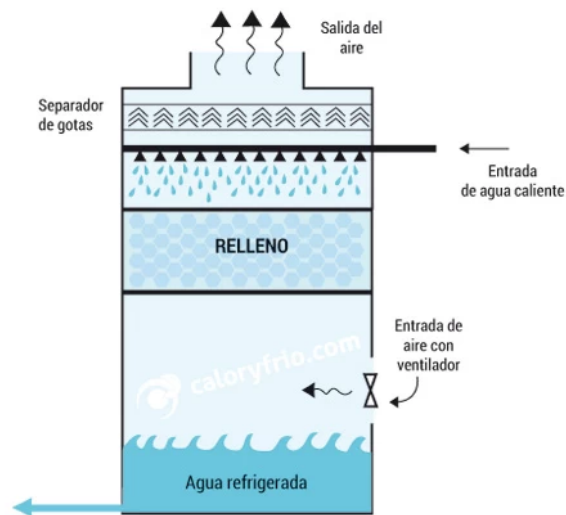


Ilustración 4 Torre de tiro forzado

Fuente: <https://0grados.com/sustentabilidad-sistemas-abiertos-agua-helada/>

### 2.1.3.1.4 Torres de flujo cruzado

El aire entra por los lados de la torre fluyendo horizontalmente a través del agua que cae. Estas torres necesitan más aire y tienen un coste de operación más bajo que las torres a contracorriente.

2.1.4 Disminución de las lluvias en Costa Rica y razonamiento de agua.

En el plan nacional de adaptación al cambio climático 2022-2026 indica lo siguiente:

Para el 2021 Respecto a la lluvia media anual, en la climatología observada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se destaca el mínimo en el Pacífico Norte, con menos de 2000 mm anuales, y valores relativamente bajos en el Valle Central y las cordilleras del país (2000-3000mm).

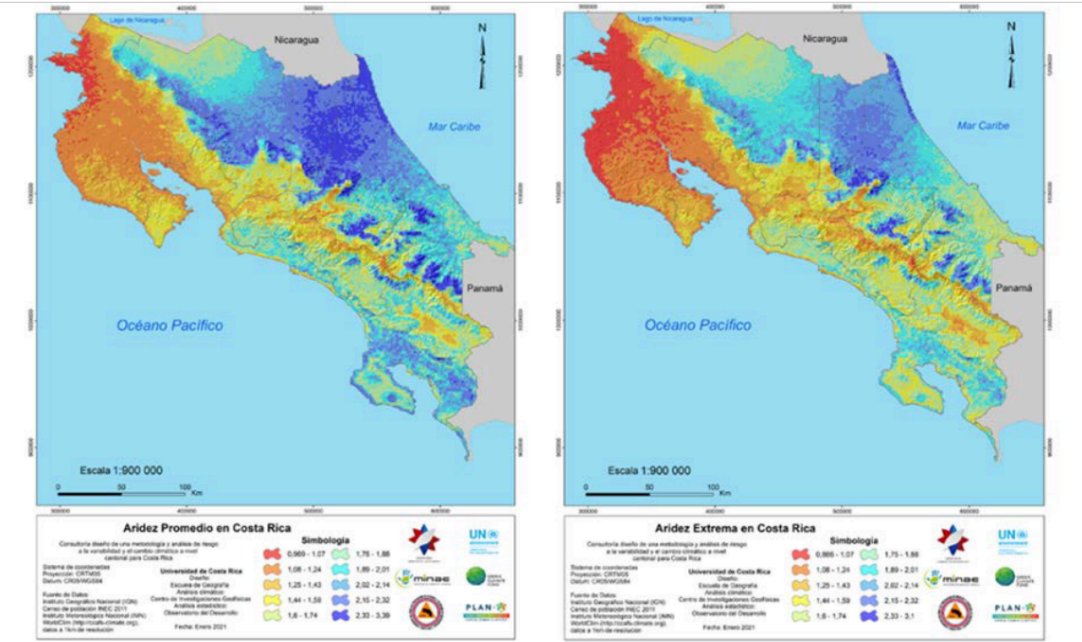


Ilustración 5 Aridez promedio y aridez extrema en Costa Rica, 1982-2019

Fuente MINAE,2021

Respecto a la lluvia, también hay una disminución del primer horizonte al segundo. En el sur del país (Osa, Golfito Corredores) los montos de 6000-7000 mm en 2020-2039

disminuyen a 4000-5000 mm en 2040-2069. La zona muy lluviosa sobre la Cordillera de Guanacaste y laderas orientales más bien presentan un aumento. En el horizonte 2070-2099, las lluvias se incrementan en varias regiones con respecto al periodo anterior. Tal es el caso en la Cordillera Volcánica Central, la de Talamanca, el Caribe, Península de Nicoya, Pacífico Central y Sur. Otras regiones muestran condiciones menos lluviosas, como la ladera oriental de la Cordillera de Guanacaste, el centro y norte del Pacífico Norte (Alvarado, 2021).

Con respecto al clima actual, a corto plazo (figura 6 A) hay aumentos de lluvia (en color azul) del 10% al 50% en las regiones del Pacífico Norte, Zona Norte, Península de Osa, Cahuita/Sixola; mientras que habría una disminución (10% al 30%) en el Valle Central, la Cordillera Volcánica Central, Fila de Matama y Cordillera de Talamanca. Para el mediano plazo (figura 6 B), la distribución espacial y las magnitudes de los cambios son muy similares a las de corto plazo, pero con mayor aumento en la Península de Nicoya (de hasta 40%), manteniéndose el déficit en la Cordillera Volcánica Central, la de Talamanca y Fila de Matama.

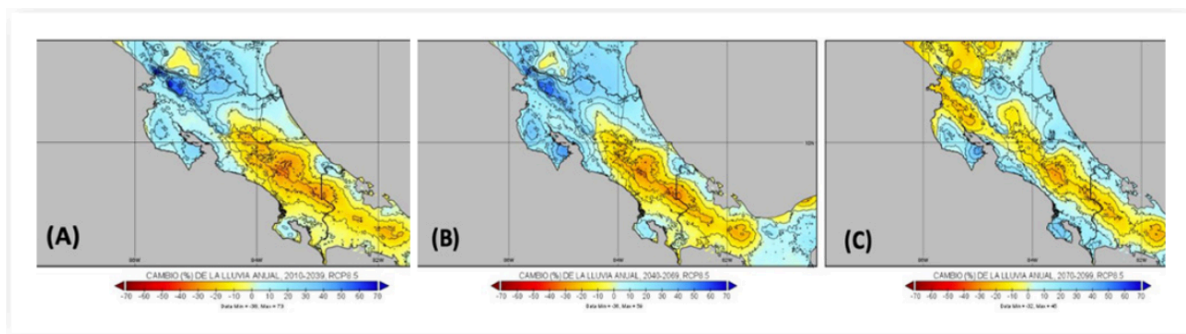


Ilustración 6 Proyección (A) corto plazo (2010-2039), (B) mediano plazo (2040-2069) y (C) largo plazo (2070-2099) del cambio de lluvia media anual con respecto a la climatología (1970-2000).

Fuente (Alvarado,2021).

El sistema hídrico es un pilar fundamental del desarrollo de Costa Rica. Sin embargo, en los últimos años aumentaron los racionamientos de agua por la disminución en la capacidad hídrica resultante de la variabilidad climática.

En Costa Rica no hay ni verano ni invierno, y la temporada de lluvias se extiende de mayo a noviembre; los meses de diciembre a abril son poco lluviosos y septiembre y octubre son los más lluviosos.

Con inversiones importantes en infraestructura hídrica, los períodos de afectación se podrían reducir hasta un 50% (PEN, 2020). Algunos factores que influyen en la generación de vulnerabilidad frente al cambio climático del recurso hídrico son los siguientes (MINAE-MIDEPLAN-PNUMA, 2020) (PEN, 2020) (MINAE, 2018):

- Según AyA, en 2019 los manantiales del país experimentaron una reducción del 20%, afectando en la GAM a unas 500.000 personas.
- Cerca de 335 250 personas no tuvieron acceso al agua potable en 2019, 6,6% del total.
- Aumento en la demanda del agua en 2020 por la emergencia por el COVID-19.

A raíz de tales vulnerabilidades y su interacción con amenazas asociadas al calentamiento global, es posible identificar los siguientes potenciales impactos sobre el sector recurso hídrico (MINAE-MIDEPLAN-PNUMA, 2020):

- Escasez de recurso hídrico en época seca.
- Disminución de la capacidad operativa y de servicios de distribución de agua potable.
- Demanda insatisfecha por la reducción en la disponibilidad del recurso.

### 2.1.5 Facturación de agua

Según Ilustración 7 facturación por mes del consumo de agua de torres de enfriamiento, se evidencia en la facturación del AYA, para el periodo 2022, del Centro de Datos administrado por Electrotécnica donde el promedio de facturación es de ₡ 1.150.466.

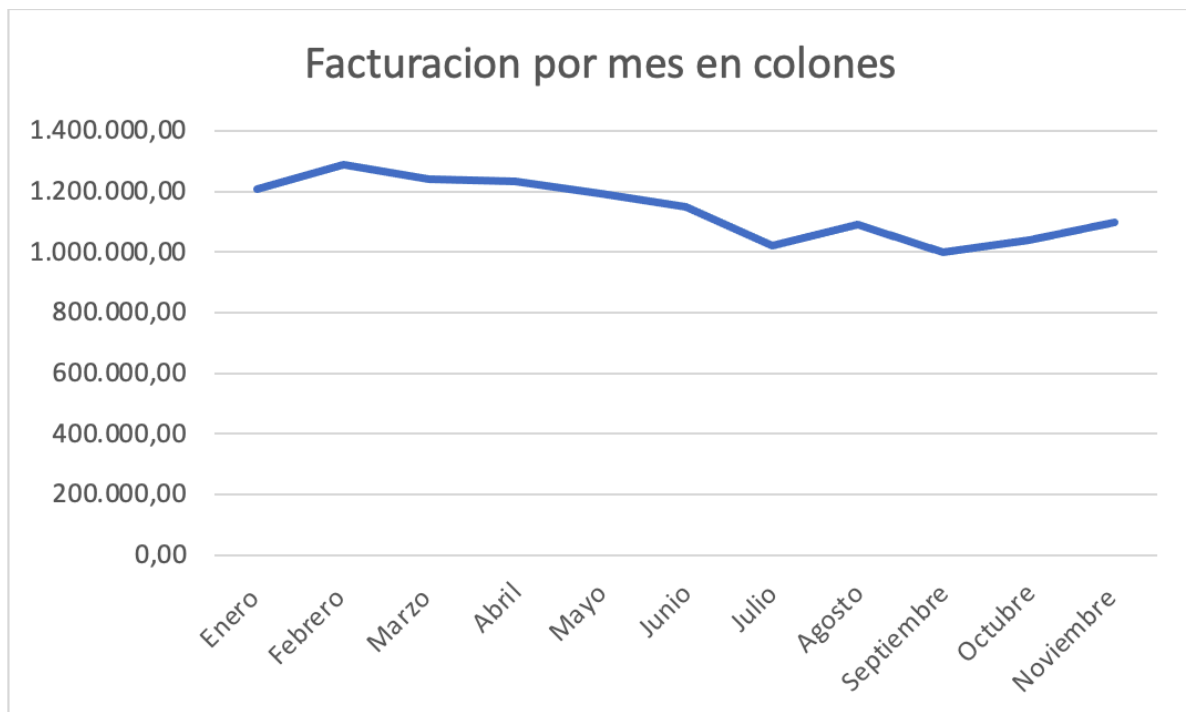


Ilustración 7 Facturación por mes en colones del consumo de agua de torres de enfriamiento.

Fuente Elaboración propia.

Aunque el costo es menor que el consumo de electricidad, si es un rubro que se puede variar con este proyecto y disminuyendo el consumo ayudamos a bajar el costo operativo.

### 2.2.1 Arduino

Arduino es una placa de desarrollo que integran un microcontrolador y un entorno de desarrollo (IDE), diseñado para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. El Arduino fue creado principalmente para artistas, estudiantes de robótica o computación, diseñadores o para cualquier persona interesada en este tipo de tecnología.

Consiste en una placa con varios dispositivos electrónicos, donde se encuentran conectados los controladores principales. La placa Arduino para su funcionamiento requiere de un lenguaje de programación, puede ser configurado y programado dependiendo de que lo que se necesite o en lo que se vaya a trabajar.

El dispositivo resulta muy útil para trabajar, ya que solo necesita ser configurado y luego programar los componentes electrónicos o sensores que se vayan a utilizar, y así crear gran cantidad de nuevos proyectos que se hallan pensando o imaginado, haciéndola una herramienta muy útil para el aprendizaje ya sea en colegios o universidades. (Weebly, s.f.)

Una ventaja que se encuentra en Arduino es que es una placa que viene de fábrica preensamblada, eso quiere decir que reduce el proceso de trabajo de los microcontroladores porque viene lista con los controladores que se necesitan para poder trabajar con esta placa a la hora de sacarla de su caja o empaque, dando

muchas ventajas ya sea para los profesores, alumnos y aficionados interesados en este tipo de tecnología.

### 2.2.2 Arduino Mega

Este tipo de placa Arduino está basada en un chip microcontrolador ATmega1280. El mismo cuenta con 54 pines digitales de entrada y salida donde 14 de ellos se pueden utilizar como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware, un cristal que oscila a 16MHz, también contiene un botón de reinicio y una conexión de puerto USB. (Arduino, s.f.).

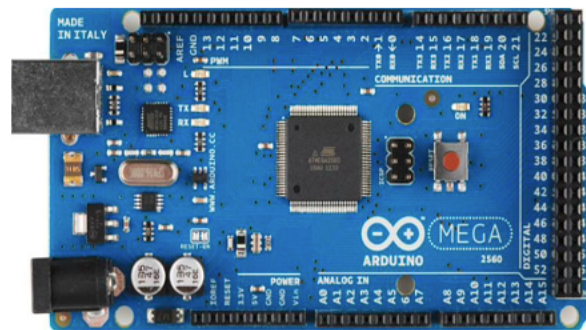


Ilustración 8 Arduino Mega

Fuente: [https://www.robotics.org.za/image/data/Arduino/Arduino%20Boards/arduino\\_mega\\_r3\\_002\\_hd.jpg](https://www.robotics.org.za/image/data/Arduino/Arduino%20Boards/arduino_mega_r3_002_hd.jpg)

### 2.2.3 Sensores

Según (Instrumentación electrónica, Paraninfo, 1999) el sensor recibe la información de la variable X que se pretende medir y produce algún tipo de señal eléctrica (tensión, corriente o carga) o modifica los valores de algún parámetro eléctrico (resistencia, capacidad, inductancia). El término sensor representa el concepto genérico de lectura

de una información y entrega de una señal de salida en función de esa información.

Existen otros términos para definir sistemas así, tales como captador, transductor..., e incluso se manejan definiciones específicas y diferencias entre ellos.

Las salidas producidas por el sensor suelen precisar una cierta adaptación para obtener un valor aceptable de tensión o de corriente. Esto se realiza mediante un circuito de acondicionamiento (conditioning circuit), que suele ser un bloque electrónico más o menos complejo.

#### 2.2.4 LCD

Es una pantalla de cristal líquido, sus siglas en Ingles se definen con “Liquid Crystal Display”, consiste en una pantalla donde se puede mostrar cadenas de texto y caracteres, la información que muestra puede ser facilitada desde cualquier placa de Arduino, se tomó en cuenta su uso para ver el estado en que se encuentran las pruebas en frente del dispositivo y se eligió una de 16x2, esto significa que tendrá dos filas donde en cada una se pueden mostrar 16 caracteres al mismo tiempo. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de cómo se ve físicamente dicha pantalla.



Ilustración 9 Pantalla LCD 16X2

Fuente <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/pantallas-lcd-liberia-actualizada>



## 2.2.5 Electroválvula o Válvula de solenoide

La válvula de solenoide es un dispositivo operado eléctricamente, y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo, aunque puede estar siempre completamente abierta o cerrada. La válvula de solenoide puede usarse para controlar el flujo de muchos fluidos diferentes, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales usados en la construcción de la válvula.

La válvula de solenoide es una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa.

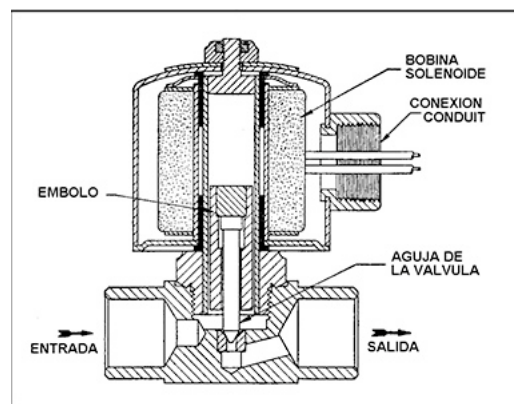


Ilustración 10 Válvula de solenoide típica de acción rápida

fuelle: <https://www.climasmonterrey.com/que-es-una-valvula-de-solenoide>

### 2.2.6 Micro bomba de agua con flujo

La bomba de agua sumergible se introduce dentro del líquido, generalmente agua, empujándolo hacia la superficie. El motor de las bombas sumergibles transforma la energía cinética en energía centrífuga y por último en energía de presión, lo que eleva el agua hacia afuera del pozo.



Ilustración 11 Micro bomba de agua con flujo de 80-120 l/H

Fuente <https://www.steren.com.sv/micro-bomba-de-agua-con-flujo-de-80-120-l-h.html>

### 2.2.7 Sensor de flujo de agua para placa

Este sensor detecta caudales de 1 a 30 litros por minuto. Incorpóralo a los proyectos electrónicos en los que necesites automatización hidráulica.

Es muy útil para controlar o saber cuál es la tasa del fluido que pasa durante un tiempo determinado. Compatible con microcontroladores o placas con sistema Arduino.



Ilustración 12 Sensor de flujo de agua

Fuente: <https://www.steren.com/sv/sensor-de-flujo-de-agua-para-placa-de-desarrollo-y-microcontroladores.html>

## 2.2.8 Sensor de gotas de lluvia

El sensor de lluvia detecta el agua que completa los circuitos en las pistas impresos de sus tarjetas de sensores. La tarjeta del sensor actúa como una resistencia variable que cambiará de 100 Kohm cuando está mojado a 2 MegaOhms cuando está seco. En resumen, cuanto más húmedo sea el tablero, mayor será la corriente que se llevará a cabo.

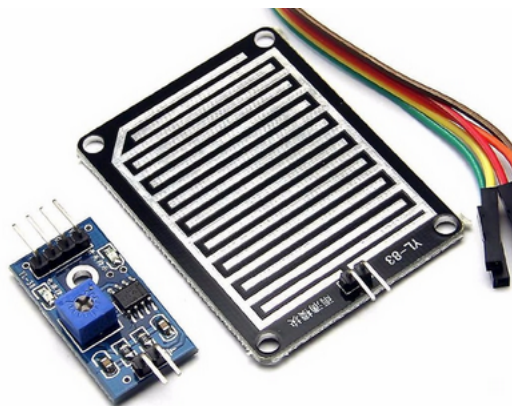


Ilustración 13 Sensor de gotas de Lluvia

Fuente <https://www.crcibernetica.com/raindrop-and-dew-sensor/>

## 2.2.9 Bases de datos

Según Capacho, se entiende base de datos como la representación a nivel integrado de una colección estructurada de datos que contienen físicamente el diseño lógico de un conjunto de entidades, instancias de las diferentes entidades del sistema de información que se está modelando en una organización y las interrelaciones de las entidades; representación que necesita de una gestión de datos a fin de ser utilizados de una forma compartida por todos los usuarios de una organización en la resolución de sus necesidades de información.(Pág. 19).

Tal y como se indica en el texto anterior una base de datos es un conjunto de variables que se interrelacionan, para dar resultados y poder ser analizados por la organización que los requiera, por lo general la forma de visualizarlos más fácil es por medio de tablas como se muestra a continuación:

Año	Carro	Modelo	Precio
2002	Nissan	Versa	6.000.000
2004	Toyota	Hilux	9.000.000
2022	BMW	X7	15.000.000
2008	FIAT	Pulse	10.000.000

Tabla 1 Ejemplo base de datos

Fuente Elaboración propia

También Wanumen, define las bases de datos como lo siguiente:

“Una base de datos es una colección de datos almacenados de modo que no exista la posibilidad de duplicación de información innecesaria y que puede ser accedida desde muchas aplicaciones por medio de métodos o funciones ya preestablecidas para la inserción, captura o eliminación de información de la colección mencionada.”

(Wanumen, 2017) Pág. 1)

En el caso de este proyecto se estará utilizando la base de datos para almacenar los valores obtenidos desde el sensor de flujo de agua, para en un futuro poder acceder a estos datos y generar los reportes que sean necesarios para la toma de decisiones.

#### 2.2.10 Sensor de conductividad.

La conductividad eléctrica del agua, usualmente llamada conductancia específica o simplemente conductividad, se puede medir rápidamente con medidores de laboratorio o medidores portátiles para proporcionar una evaluación de la concentración total de iones disueltos. La conductividad de las aguas acuícolas se mide frecuentemente, y me gustaría proporcionar una discusión relativamente simple de los principios básicos y la medición de esta propiedad del agua.

Conductividad en el agua: ley de Ohm

La ley de Ohm es la base para la medición de la conductividad en el agua. Esta ley define la resistencia al flujo de electricidad entre dos puntos en un circuito; una fuerza electromotriz (E) de 1 voltio hará que una corriente (I) de 1 amperio fluya contra una resistencia (R) de 1 ohm. La ecuación de la ley de Ohm es:

$$E = I * R \text{ o } V(\text{voltios}) = I * R.$$

Ecuación 1 Ley de Ohm

La cantidad de resistencia impuesta por el alambre en un circuito simple es directamente proporcional a la longitud (L) del alambre e inversamente proporcional al diámetro del alambre (A) o  $R = L/A$ . Diferentes sustancias, por ejemplo, alambres hechos de diferentes metales, tienen capacidades y características diferentes para resistir el flujo de electricidad. La resistencia característica de una sustancia se llama su resistencia específica (r); por lo tanto,

$$R = r (L/A).$$

Ecuación 2 Resistencia específica

Debido a que r está en ohmios, R está en ohmios/cm. Las sustancias distintas al alambre también causan resistencia, y el agua misma es la resistencia con respecto al flujo de electricidad en el agua.

Una resistencia también es un conductor de electricidad, y la conductancia (K) es el recíproco de la resistencia o  $K = 1/R$ . Un conductor también tiene una conductancia específica (k), y  $k = 1/r$  o  $k = (1/r) (L/A)$ . La unidad de medida para la conductancia es recíproca de Ohms, o 1/Ohms, pero para hacer una unidad más conveniente, ha sido tradicional referirse a 1/mhos como mhos – Ohms deletreado hacia atrás.

El agua conduce la electricidad a través de los iones disueltos en ella, y el agua pura es un conductor pobre de la electricidad. La mayoría de las aguas naturales, sin embargo,

contienen iones disueltos, y como resultado, su conductividad aumenta con mayor concentración de iones totales.

Un medidor de conductividad para uso en agua es una modificación del puente de Wheatstone tradicional usado para determinar la resistencia de un resistor de resistencia desconocida. En un medidor de conductividad para el agua, la resistencia desconocida es la del agua en la que se inserta la sonda del medidor. El componente puente de Wheatstone del medidor determina la resistencia a través de un cubo de agua de 1-cm<sup>3</sup>.

Para poder realizar la medición de la conductividad se utilizará el sensor de humedad YL-69.

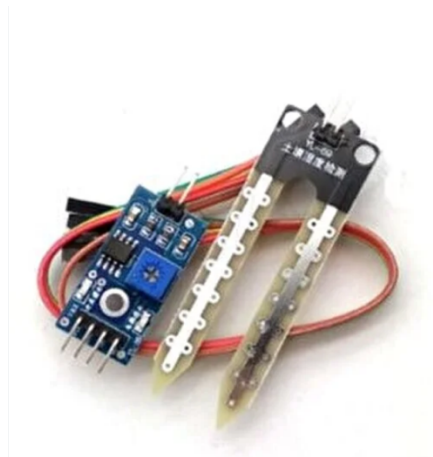


Ilustración 14 Sensor de temperatura

Fuente: <https://www.trendyol.com/arduino/toprak-nem-algilama-sensoru-sensor-soil-moisture-sensor-p-65478571>

TDS (sólidos disueltos totales) indica que cuántos miligramos de sólidos solubles disueltos en un litro de agua. En general, cuanto mayor sea el valor de TDS, los sólidos

más solubles se disuelven en agua, y menos limpio es el agua. Por lo tanto, el valor TDS puede ser utilizado como una de las referencias para reflejar la limpieza del agua.

La pluma TDS es un equipo ampliamente utilizado para medir el valor de TDS. El precio es asequible, y es fácil de usar, pero no es capaz de transmitir datos al sistema de control para monitoreo en línea para hacer un análisis de calidad del agua.

### 2.2.11 Módulo para microSD

Este módulo que se visualiza en la Ilustración 15- permite la lectura y escritura de tarjetas microSD desde el Arduino. A través del sistema de archivos y la interfaz SPI, se logran efectuar satisfactoriamente estas tareas.

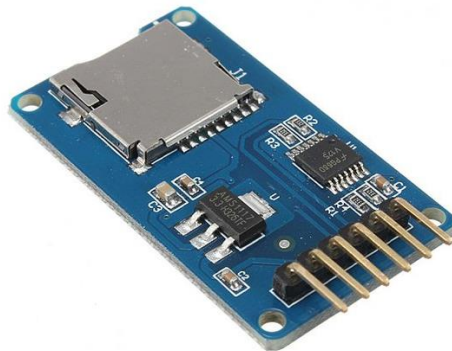


Ilustración 15 Módulo microSD para Arduino

Fuente: [https://s15.postimg.org/kfxyhv23f/microsd\\_breakout\\_board.jpg](https://s15.postimg.org/kfxyhv23f/microsd_breakout_board.jpg)

Entre las características más destacables de este módulo, se pueden enunciar las siguientes:



1. Soporte para tarjetas Micro SD y Micro SDHC (alta velocidad).
2. Circuito de conversión de nivel en la placa. Es decir, la interfaz para el nivel de 3,3V o 5V.
3. Alimentación desde 4,5V hasta 5,5V gracias al regulador de voltaje de 3,3V integrado con el que cuenta el módulo.
4. Interfaz de comunicación mediante protocolo SPI estándar.

Este módulo cuenta con un total de seis pines (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS). GND es tierra y VCC la fuente de alimentación. Los pines nombrados como MOSI, MISO y SCK son para el bus SPI y el pin CS es el selector de chip (Lovesell2013, 2016).

El regulador de 3,3V que se encuentra integrado en el módulo alimenta la tarjeta Micro SD que se inserte en el módulo.

Además, en las esquinas de la placa sobre la cual se montan todos los componentes, se encuentran agujeros para la inserción de tornillos que faciliten la instalación del módulo en proyectos y así facilitar su utilización.

#### 2.2.12 RTC 3231

DS3231 es un módulo de reloj tiempo real de bajo costo y extremadamente preciso I2C (RTC), con un oscilador integrado con compensación de temperatura de cristal (TCXO). El dispositivo incorpora una batería que cuando se desconecta la fuente de alimentación principal mantiene el cronometraje preciso. Oscilador integrado de mejorar

la precisión a largo plazo del dispositivo y reduce el número de componentes de la línea de producción. El DS3231 está disponible en rangos de temperaturas comerciales e industriales.

RTC mantiene segundos, minutos, horas, días, fecha, mes, año y la información deseada. Menos de 31 días del mes, la fecha final se ajustará automáticamente, incluyendo correcciones para los años bisiestos. El reloj funciona en cualquiera de las 24 horas o banda / AM / PM indicación del formato de 12 horas. Proporciona dos relojes de alarma configurable y un calendario que se puede ajustar a una salida de onda cuadrada. Dirección y los datos se transfieren en serie a través de un bus bidireccional I2C.

Una compensación de temperatura de precisión de referencia de voltaje y circuito comparador supervisa el estado de VCC para detectar fallas de energía, proporcionar una salida de reset, y si es necesario, cambia automáticamente a la fuente de alimentación de reserva.

Ahorre tiempo y una alta precisión, además, DS3231 también tiene algunas otras características que amplían el sistema host de características adicionales y una gama de opciones. El dispositivo integra un sensor de temperatura digital muy preciso, a través de la interfaz I2C \* para acceder a ella (al mismo tiempo). Esta precisión del sensor de temperatura es de  $\pm 3$  °C en el chip del circuito de control de alimentación puede detectar automáticamente y gestionar la alimentación principal y de reserva (es decir, la batería de bajo voltaje) para cambiar entre la fuente de alimentación. Si se da un fallo de alimentación principal, el dispositivo puede continuar para proporcionar

sincronización exacta y la temperatura, el rendimiento no se ve afectado. Cuando los principales poder realimentación o el valor de tensión vuelva a hallarse dentro del rango permitido, la función de restablecimiento en el chip se puede utilizar para reiniciar el microprocesador del sistema.

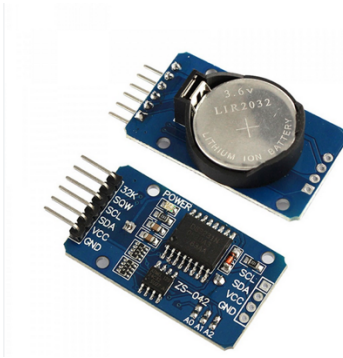


Ilustración 16 DS3231

Fuente: <https://free-electronic.com/product/real-time-clock-rtc-ds3231/>

### 2.2.13 Módulo Relé

Es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Al activar el relé, poniendo a 5 volts el pin de control dejará pasar la corriente (se cierra el circuito interruptor), mientras que si la tensión es 0 volts se interrumpirá la corriente. Existen relés para 12 Volts, 24 V, 110 V, 220 V.

- Voltaje de alimentación: 5 VDC.
- Se conectan directamente a un microcontrolador u otro circuito integrado.
- Este tipo de módulo se activa con una señal de 0 VDC, es decir, 0 lógico.
- El módulo cuenta con tres pines: Positivo (VCC), Señal, Negativo (GND).
- Soporte de corriente en contactos del relé: 10A 250 V.
- Tamaño compacto.

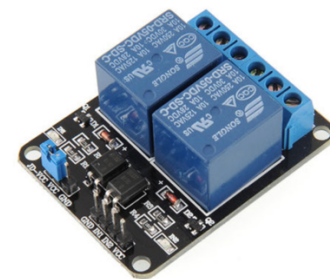


Ilustración 17 Módulo Relé

Fuente: <https://forum.arduino.cc/t/problema-con-rele-de-doble-canal/525236>

## 2.2.14 I2C

El protocolo I2C implica el uso de dos líneas para enviar y recibir datos: un pin de reloj en serie (SCL) que la placa del controlador Arduino pulsa a intervalos regulares y un pin de datos en serie (SDA) a través del cual se envían datos entre los dos dispositivos. A medida que la línea del reloj cambia de menor a mayor (lo que se conoce como el flanco ascendente del pulso del reloj), un solo bit de información, que formará en secuencia la dirección de un dispositivo específico y un comando o datos, se transfiere de la placa al dispositivo I2C a través de la línea SDA. Cuando se envía esta información, bit tras bit, el dispositivo solicitado ejecuta la solicitud y transmite sus datos, si es necesario, a la placa a través de la misma línea, utilizando la señal de reloj aún generada por el controlador en SCL como temporización.

Debido a que el protocolo I2C permite que cada dispositivo habilitado tenga su propia dirección única, y como tanto el controlador como los dispositivos periféricos se turnan para comunicarse a través de una sola línea, es posible que su placa Arduino se comunique (a su vez) con muchos dispositivos, u otras placas, mientras usa solo dos pines de su microcontrolador.

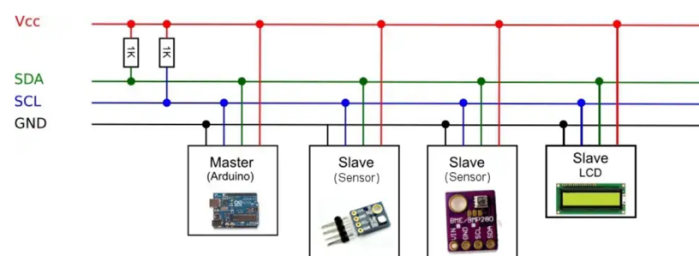


Ilustración 18 I2C

Fuente <https://medium.com/learning-by-doing-404/i2c-communication-between-rpi-and-arduino-b7064bffe02a>

## Capítulo III Marco Metodológico

### 3.1 Tipo de investigación

Para esta sección existe mucha literatura y clasificaciones. Primero se iniciará explicando el tema del tipo y por último el enfoque.

El tipo se refiere a la clasificación que recibe la investigación por su aplicación, por su objeto de estudio, por su extensión o por su medición. Para este trabajo se mencionarán en sí seis tipos básicos sin ser excluyentes por definir en el proyecto:

- **Básica:** Llamada también investigación pura o fundamental, es trabajada en su mayor tiempo en los laboratorios. Su principal aporte lo hace al conocimiento científico, explorando nuevas teorías y transformando las ya existentes. Además, investiga principios y leyes actuales.
- **Aplicada:** Es utilizar los conocimientos obtenidos en las investigaciones en la práctica, y con ello traer beneficios a la sociedad. Un ejemplo es el protocolo más seguro y rápido en redes.
- **Analítica:** Es un método más complicado, y su principal objetivo es contrastar, entre grupos de estudio y de control, las distintas variables. Además, es la constante proposición de teorías que los investigadores intentan desarrollar o probar.
- **Descriptiva:** Busca identificar y describir los elementos, propiedades o características principales que componen o explican determinados fenómenos o problemáticas, basándose en el método analítico. En algunas ocasiones, permiten el desarrollo de conocimientos que también pueden servir de base para la

realización de investigaciones más profundas sobre el tema o problemática estudiada.

- Investigación de Campo: Es la investigación aplicada para interpretar y solucionar alguna situación, problema o necesidad en un momento determinado. Las investigaciones son trabajadas en un ambiente natural en el que están presentes las personas, grupos y organizaciones científicas las cuales cumplen el papel de ser la fuente de datos para ser analizados.
- Exploratorias: En ocasiones también se les denomina estudios piloto, y su finalidad o propósito es identificar los aspectos fundamentales del fenómeno, objeto o problemática analizada, así como determinar los métodos y procedimientos más adecuados para la realización de posteriores investigaciones. Es decir, el desarrollo de este tipo de investigación permite obtener resultados que, a su vez, dan lugar a nuevas investigaciones cuyo objetivo sea la comprobación de dichos resultados. (Universidad Hispanoamericana, 2018, p.23)

De acuerdo con lo mencionado en los párrafos anteriores, esta investigación es descriptiva y exploratoria ya que se basa en describir e identificar el comportamiento del sistema durante determinados tiempos y ante diferentes variables.

### 3.1.1 Enfoque de la investigación.

Para el caso del enfoque de la investigación, ésta es planteada a partir de las variables a definir para el trabajo. En otras palabras, va orientado al resultado del proyecto, el cual se considera por lo general en función de sus variables, su racionalidad y



objetividad de los resultados. Es por lo cual, que se plantea en términos de un enfoque cuantitativo y un enfoque cualitativo.

- Enfoque Cuantitativo: “Mantiene un profundo apego a la tradicionalidad de la Ciencia y utilización de la neutralidad valorativa como criterio de objetividad” (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Entre sus principales características se encuentra la recolección de datos como fuente primaria para probar hipótesis, desde un punto de vista tangible (numérico) y estadístico, con lo cual se puedan definir patrones y comprobar teorías. Siendo por esto la objetividad la única forma de alcanzar el conocimiento. Por ejemplo, el uso de encuestas o entrevistas.
- Enfoque cualitativo: Tiene como objetivo la descripción de un fenómeno, tratando de definir un concepto que acapare parte de la realidad. Se trata de descubrir cuantas cualidades sea posible, sin concentrarse en una cualidad dada (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo) Es una perspectiva holística, siendo estudios de pequeña escala para representarse a sí mismos, por cuanto no busca una generalidad ni comprobar una teoría general. Trata de aproximar la realidad a través del contacto con el quehacer de la empresa, partiendo de una metodología. En otras palabras, no busca la cuantificación de las variables, sino el análisis de las cualidades o variables no cuantificables.
- La investigación mixta es una mezcla de los tipos de investigación que se acaban de mencionar. (Universidad Hispanoamericana, 2018, p.24)

En referencia a lo citado en el texto anterior, esta investigación se basa en un enfoque mixto, ya que implica orientarse en variables medidas, comprobación de pruebas a raíz de la teoría, y también tiene un desarrollo cualitativo, ya que presenta planteamientos abiertos que se pueden dar de acuerdo con los resultados de las pruebas.

## 3.2 Fuentes de información

Las fuentes de información son aquellas de donde se obtiene el sustento teórico y práctico, mediante el cual se podrá fundamentar la propuesta a desarrollar en el proyecto. En este caso, se hace referencia a todos aquellos elementos distintos a personas, que permitan validar los resultados del proyecto, mediante la comparación con información fiable y de calidad.

### 3.2.1 Fuentes primarias

En ellas se publican información precisa y directa sobre los resultados originales de la investigación. Están constituidas por las revistas de investigación y las patentes, además de investigaciones en primera instancia, resultados de entrevistas, encuestas, estudios, entre otros.

En referencia a lo indicado por Hernández Sampieri, 2014:

“Las referencias o fuentes primarias proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes” (p.61).

Para obtener la información de fuentes primarias en este proyecto, se utilizarán diferentes herramientas de recopilación de datos tales como: revisión bibliográfica de la

biblioteca universitaria, método de observación y entrevistas dirigidas a los empleados de la empresa encargados del mantenimiento de las torres de enfriamiento y proveedores de tratamiento químico en el caso de la conductividad del agua.

### 3.2.2 Fuentes secundarias

Comprenden todas las publicaciones que recojan material que ha sido previamente publicado en fuentes primarias, es decir, resúmenes, revisiones, monografías, tratados específicos, tratados generales y libros de texto, entre otras. Son publicaciones que han sido validados sus conceptos e información por la comunidad científica y sociedad en general. (Departamento de Química Orgánica, Universidad Granada, 2004).

En este proyecto las fuentes secundarias son consultadas con el objetivo de dar veracidad y fundamento a la información, haciendo uso de documentos como libros de texto, documentos de internet y otros.

### 3.3.3 Sujeto de la información

Los sujetos de información son aquellas personas a quienes se contacta para la obtención de información valiosa para el proyecto. Estas personas pueden ser empleados de la empresa, gerentes, expertos en el área de desarrollo del proyecto, entre otros. Lo que se busca en esta subsección es definir a estos sujetos, pero sin especificar características propias del mismo como nombre o cédula.

Para efectos de este proyecto, los sujetos de información corresponden al propietario de la empresa donde se realizará la misma, así como los empleados encargados de la compra, distribución, instalación y mantenimiento de las torres de enfriamiento y

proveedores de tratamiento químico; con los cuales se trabajarán diferentes herramientas de recolección de datos como informes para la investigación.

### 3.3 Técnicas y Herramientas

Recolectar los datos significa aplicar uno o varios instrumentos de medición para recabar la información pertinente de las variables del estudio en la muestra o casos seleccionados (personas, grupos, organizaciones, procesos, eventos, etc.). Los datos obtenidos son la base del análisis. Sin datos no hay investigación. (Hernández & Mendoza, 2018) P.226).

Para este proyecto se recolectaron dos tomas de datos:

- Consumo de agua actual de la torre de enfriamiento, ya que parte del monitoreo del sistema se lleva un control de la cantidad de litros suministrados, por lo cual se tiene la cantidad por mes.
- Como parte de la administración se lleva la facturación de todos los meses donde se obtiene el monto por mes en colones.

#### 3.3.1 Sesiones en profundidad o grupos de enfoque

Otra herramienta, según (Hernández & Mendoza, 2018) cuya popularidad ha crecido, son los grupos de enfoque. Algunos autores los consideran como una especie de entrevistas grupales, que consisten en reuniones de grupos pequeños o medianos (tres a 10 personas), en las cuales los participantes conversan a profundidad en torno a uno o varios temas en un ambiente relajado e informal bajo la conducción de un especialista en dinámicas grupales (Krueger y Casey, 2015 y The SAGE Glossary of

the Social and Behavioral Sciences, 2009). Más allá de hacer la misma pregunta a varios participantes, su objetivo es generar y analizar la interacción entre ellos y como se construyen colectivamente significados (Morgan, 2008; y Barbour, 2007). Los grupos de enfoque se utilizan en la investigación cualitativa en todos los campos del conocimiento. A continuación, se desarrollará un enfoque general para cualquier disciplina. Creswell (2005) indica que el tamaño de los grupos varía dependiendo del tema: tres a cinco personas cuando se expresan emociones profundas o temas complejos y de seis a 10 participantes si las cuestiones versan sobre asuntos más cotidianos, aunque en las sesiones no debe excederse de un número manejable de individuos. El formato y naturaleza de la sesión o sesiones depende del objetivo y las características de los participantes y del planteamiento del problema (Oates y Alevizou, 2018 y Hennink y Leavy, 2013). (P.455).

También se utilizará la entrevista como medio para la recolección de información, esta técnica se va a hacer de forma semiestructurada, generando una lista de preguntas establecidas y dejando abierto el espacio para generar consultas adicionales dada la experiencia o condiciones del entrevistado.

Es importante mencionar que se utilizarán grupos de enfoque, para validar los criterios de los técnicos, acerca de dudas o acotaciones de las pruebas que se deben realizar a la hora de integrar el sistema.

### 3.4 Variables de investigación

La variable de investigación se define de la siguiente manera:

“El propósito de toda investigación es describir y explicar la variación en el mundo. Es decir, los cambios que ocurren de manera natural en el mundo o que son causados debido a una manipulación. Las variables son nombres que damos a las variaciones que deseamos explicar. En un experimento, se denominan variables dependientes e independientes, respectivamente. Las variables son importantes de comprender, pues son unidades básicas de información que se estudia e interpreta en una investigación. Los investigadores cuidadosamente analizan e interpretan los valores de cada variable para entender cómo se relacionan las cosas en un estudio descriptivo o lo que ha sucedido en un experimento.” (ORI)

Para el proyecto, se recomienda establecer las variables en función de los objetivos determinados para el mismo, si se trata de una investigación de enfoque cuantitativo. Esto quiere decir que las variables no pueden ser descriptivas sino cuantificables. Si la investigación es de enfoque cualitativo, se pueden usar categorías de análisis, en lugar de variables. Las categorías de análisis agrupan elementos con características comunes, a las cuales se pueden aplicar criterios de valor.

En otras palabras, cada objetivo define las variables del trabajo, y esas variables son tales que en su conjunto se pueda obtener el entregable final del proyecto, que dé respuesta al objetivo general.

Tal y como se indica en el texto anterior, las variables son los elementos claves para la ejecución de las hipótesis o teorías, en nuestro caso les darán valor a los objetivos planteados, en la tabla 2 se detalla las variables que tendrá cada objetivo en la investigación.

Objetivo Específicos	Variables asociadas	Descripción
<p>Analizar las características y las necesidades de las torres de enfriamiento actualmente instaladas.</p>	<p>Características y necesidades de las Torres de enfriamiento</p>	<p>Elementos para tomar en cuenta para seleccionar la mejor manera de implementar el proyecto</p>
<p>Identificar el método de llenado actual de agua potable que tienen los equipos para seleccionar el tipo de tecnología para el desarrollo del proyecto, con el fin de utilizar los componentes más adecuados que permitan cumplir el diseño.</p>	<p>Método actual y tecnología para el desarrollo del proyecto.</p>	<p>Revisar e identificar el método actual de llenado de las torres.</p>
<p>Construir y programar un prototipo capaz de simular los diferentes escenarios, que permita conocer los dispositivos que se requieren para el proyecto.</p>	<p>Diseñar, construir y programar el prototipo que cumpla con todas las necesidades del proyecto.</p>	<p>Elegir la tecnología adecuada y componentes necesarios para el desarrollo del proyecto.</p>

Implementar una interfaz de usuario mediante una pantalla LCD que permita al usuario la visualización y monitoreo del funcionamiento del sistema.	Diseñar una interfaz de usuario	Elegir la interfaz adecuada para la visualización y monitoreo del estado de los tanques.
Elaborar un manual de funcionamiento para el uso del dispositivo.	Manual de funcionamiento	Implementación del manual del dispositivo
Evaluar el costo-beneficio del proyecto como solución al problema planteado.	Viabilidad del proyecto	Evaluación de la rentabilidad de la implementación del proyecto

Tabla 2 Variables de investigación

Fuente: Elaboración propia



### 3.5 Diseño de la investigación

Según Trochim (2005), el diseño de la investigación “es el pegamento que mantiene el proyecto de investigación cohesionado. Un diseño es utilizado para estructurar la investigación, para mostrar cómo todas las partes principales del proyecto de investigación funcionan en conjunto con el objetivo de responder a las preguntas centrales de la investigación.” El diseño de la investigación es como una receta. Así como una receta ofrece una lista de ingredientes y las instrucciones para preparar un platillo, el diseño de la investigación ofrece los componentes y el plan para llevar a cabo el estudio de manera satisfactoria. El diseño de la investigación es la “columna vertebral” del protocolo de investigación. (ORI)

A continuación, se describe las etapas del proyecto

Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
<ul style="list-style-type: none"><li>• Se realizará una revisión de las tuberías existentes.</li><li>• Se realizará cálculos para determinar de cuanto será el agua recuperada.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar niveles de llenado.</li><li>• Métodos de vaciado y llenado del tanque.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Visualización del proyecto.</li><li>• Medición de parámetros (conductividad y litros)</li><li>• Historial de agua recuperada.</li></ul>

Tabla 3 Etapas del proyecto

Fuente: Elaboración propia

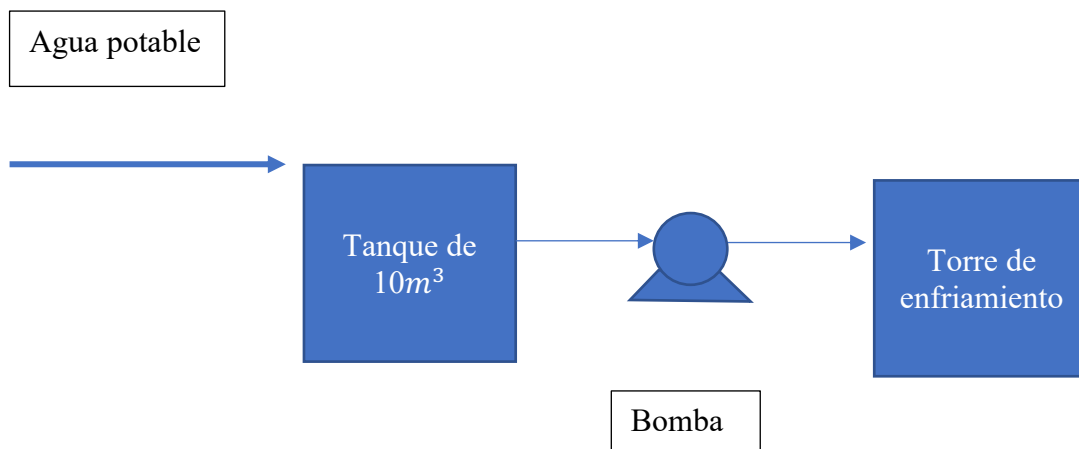
## Capítulo IV Diagnóstico

#### 4.1 Descripción de la situación actual

Según la entrevista y observación realizada al Ing. José Mario Ramírez, trabajador activo de Electrotécnica, encargado de la Gestión de Centros de Datos, y a las torres de enfriamiento se logró identificar el estado actual del sistema de enfriamiento, componentes y dispositivos.

Actualmente, el funcionamiento de las torres de enfriamiento se da de la siguiente manera:

Las torres de enfriamiento son alimentadas por medio de tubería de agua potable directamente de un tanque de  $10\text{ m}^3$  por medio de una bomba sumergible, son controladas por válvulas, manómetros y boyas. Ver Ilustración 19.



*Ilustración 19 Situación actual Fuente  
Elaboración propia*

La demanda por parte de la torre se da de la siguiente manera:

En todos los equipos de enfriamiento que funcionan en modo evaporativo, el enfriamiento se lleva a cabo evaporando una parte del agua de recirculación conforme esta circula por el equipo. Cuando esta agua se evapora, las impurezas presentes originalmente en el agua permanecen en el equipo. Si una pequeña parte del agua, conocida como purga, no se vacía del sistema, la concentración de sólidos disueltos aumentará rápidamente y provocará formación de depósitos y/o corrosión, por lo tanto, es necesario reponer el agua del sistema que se pierde por evaporación y purga. La cantidad total de agua que es necesario reponer, denominada llenado, se define de la siguiente manera:

$$\text{Llenado} = \text{Pérdidas por evaporación} + \text{purga}$$

Ecuación 3 Pérdidas de agua en una torre de enfriamiento

Fuente Instrucciones de Mantenimiento y Funcionamiento BAC

En referencia con los datos tomados para cada torre de enfriamiento el llenado es alrededor de los 250 a 300  $m^3$ , equivalente a entre 250 000 y 300 000 litros mensuales.

Según lo mencionado en el marco teórico esto equivale a ₡ 1.150.466 al mes alrededor de ₡ 13.805.592 al año en facturación.

## 4.2 Recolección de datos

Debido a que este proyecto se enfoca en un requerimiento específico del mercado nacional se seleccionó tres técnicas de recolección de datos indicadas en el capítulo 3, los cuales son:

### 4.2.1 Revisión de registros

Actualmente se realizan dos rondas diarias donde se toma el consumo de enfriamiento por medio de un medidor de litros que se cuenta en cada torre, este registro se lleva en una hoja de Excel por día. En el anexo 2 se adjunta extracto.

Con dicha información se realizó un levantamiento del consumo de enero a noviembre del 2022.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Consumo en $m^3$	287	305	294	293	283	273	262	246	254	261

Tabla 4 Registro de consumo de agua 2022

Fuente: Elaboración propia

El consumo para las torres de enfriamiento va a depender de las condiciones climáticas y niveles configurados de los parámetros medidos en el sistema, las variables se deben ajustar a cada caso.

#### 4.2.2 Observación

Se destinó un día para detallar la observación de las conexiones, rutas y componentes del sistema, así como diagramas de conexión diámetros y manuales existentes en cada uno de los equipos que conforman la red de agua helada.

En referencia a lo observado, se encontró que el suministro de agua es constante para las torres de enfriamiento, por lo cual el suministro de agua de lluvia debe ser también constante y seguro para que el sistema este operativo. Igualmente, se verificó la purga de salida de agua.

Se observó el espacio que se encuentra entre las tuberías de agua potable donde podrían colocarse las tuberías de los nuevos tanques, así como el espacio donde se podría construir el tanque para el agua de lluvia.

#### 4.2.3 Entrevista

Para esta investigación se ejecutó una entrevista semiestructurada de nueve preguntas dirigidas al Ing. José Mario Ramírez, encargado del departamento de Gestión de Centros de Datos. Él cuenta con 10 años de experiencia en el tema de UPS y respaldo de equipos de misión crítica. La entrevista completa se encuentra en el anexo 1.

Extrayendo los datos de la entrevista indica:

Los sistemas de enfriamiento de agua helada instalados en Costa Rica por Electrotécnica están alimentados por suministros de agua potable, fuera de

nuestro país es más común verlos conectados a una red de agua no tratada o no potable, donde sí se reutilizan aguas de diferentes sistemas.

Además, indica que los problemas por no tener estos equipos operativos son:

- Sobre temperatura en las salas críticas.
- Apagado de los equipos.
- Perdida de información.

Un punto muy importante mencionados por don José es el costo operativo, ya que, si el monto de la facturación incrementa, también aumenta el costo del mantenimiento de la red de agua helada, considerando también la posible escasez de recurso en un futuro y que puede afectar la operación del equipo.

## Capítulo V Propuesta del Proyecto



## 5.1 Aspectos de diseño

En este apartado del documento se procede a realizar la descripción detallada del prototipo correspondiente al proyecto. Se iniciará discutiendo los aspectos referentes a la circuitería de los módulos de la maqueta y control, los cuales se encuentran fundamentados en los microprocesadores y los microcontroladores que constituyen la base de todo el sistema.

Es necesario analizar las posibles tecnologías a utilizar en el desarrollo del proyecto, entre las principales son los microprocesadores y los microcontroladores, estos elementos están conformados por componentes similares, pero con diferencias en sus características, de procesamiento de datos y procesos.

El uso de una tecnología u otra depende, entre otros, de la finalidad que se le vaya a dar al sistema, por eso para una aplicación en la que sea necesario monitorear algún elemento por medio de sensores o controlar algún proceso por medio de motores o actuadores, lo más conveniente es utilizar un microcontrolador.

Un microcontrolador es una computadora a pequeña escala, cuenta con unidades de memoria, puestos de entrada y salida, periféricos, osciladores y módulos de comunicación, mientras que un microprocesador es de uso general y es un componente aparte de los demás que están en una computadora.

El microcontrolador se comunica usando "1" o "0" esto quiere decir que se necesita programar a bajo nivel, interactuando directamente con el hardware y

direcciones de memoria, para este proyecto se guarda datos tomados por los sensores esto ayuda a trabajarlo más fácilmente.

Una vez expuestos tanto los detalles sobre el hardware y el software, se analiza el prototipo como un todo, viendo la interacción entre todas las partes mediante el diagrama de bloques.

Luego se detalla el sistema a nivel físico, se realizan pruebas de funcionamiento para corroborar si la funcionalidad para la cual se diseñó se cumple adecuadamente.

Una vez concluida esta sección, se presenta el manual de usuario, que contiene todos los aspectos a tomar en cuenta para que la persona que manipule el sistema lo haga de la mejor manera y pueda sacarle el máximo provecho al mismo.

Finalmente, se tiene el análisis del costo-beneficio de la propuesta, donde se determina si la implementación del sistema es factible desde un punto de vista económico.

## 5.2 Prototipo

En esta etapa se detalla el proceso de diseño y construcción del prototipo del proyecto, para lo cual se analizan las características y funcionamiento de cada una de sus partes.

Para la construcción del prototipo se realizará las siguientes etapas:

### 5.2.1 Hardware y Software

Por lo mencionado anteriormente se escogió el microcontrolador Arduino Mega, por tener las siguientes características:

1. Cantidad de entradas y salidas analógicas y digitales.
2. Cantidad de librerías para los diferentes dispositivos.
3. La cantidad de sensores que se encuentran en el mercado.
4. Costo bajo del microcontrolador Arduino Mega.

A continuación, se presentan los diagramas de las secciones de todos los elementos del circuito con el Arduino Mega y serán expuestos los diagramas de flujo que conforman la base de lo que constituye la programación que fue utilizada para lograr que el circuito desempeñe la función para la cual fue creado.

#### 5.2.1.1 Fuente de voltaje

Este circuito se encuentra conformado principalmente por el Arduino Mega, que es quien lo gobierna por completo. Este debe alimentarse con 5 V al menos, ya que una alimentación por debajo de este nivel puede ocasionar que la placa se torne inestable.

Para este circuito del sistema se dispone de adaptador de 9 V para alimentarlo, como el sistema de enfriamiento es muy crítico se alimentará de un tomacorriente

de UPS para evitar los cortes. Adicionalmente, se utiliza un adaptador de 12V para la alimentación de las válvulas solenoides ya que estas trabajan a este voltaje.

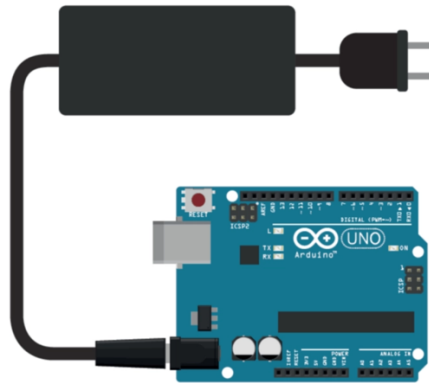


Ilustración 20 Adaptador conectado a Arduino

Fuente: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/alimentar-el-arduino-la-guia-definitiva/>

### 5.2.1.2 Encendido

Para el encendido del prototipo se colocó un interruptor y un led para indicar el estado si es encendido o apagado.

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes a diferentes escenarios

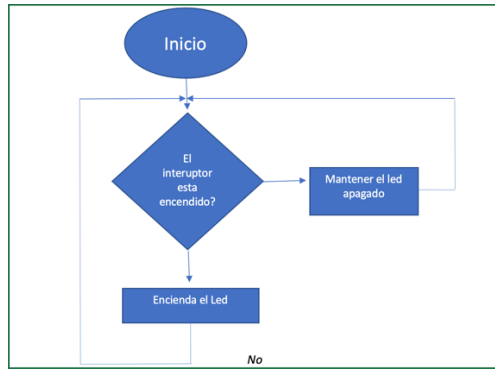


Ilustración 21 Diagrama de flujo encendido

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan los componentes y la alimentación.

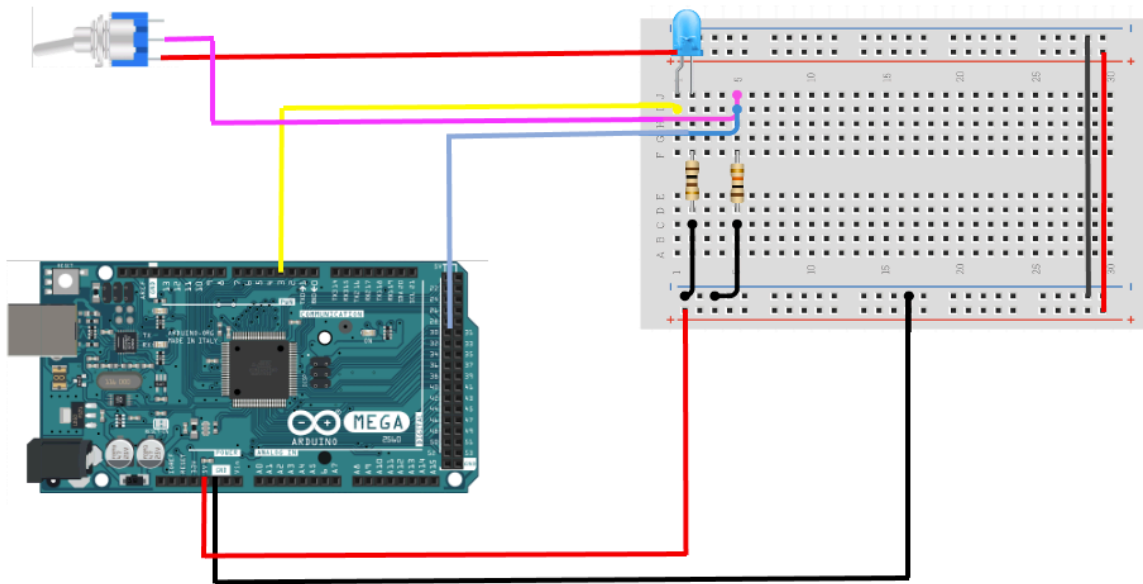


Ilustración 22 Circuito de encendido

Fuente: Elaboración propia.

## Cálculo de la resistencia del interruptor

Como regla general se debe usar una resistencia de valor 10 veces menor a la impedancia de la entrada digital, lo que no suele ser ningún problema, ya que normalmente las entradas digitales tienen una impedancia igual o superior a 1 MΩ. Y para evitar el calentamiento y sobre consumo eléctrico, si la alimentación es a 5 V, se suelen emplear resistencias de entre 1 KΩ y 10 KΩ (corriente entre 5 mA y 0,5 mA) dependiendo de la inmunidad al ruido eléctrico y características propias de la entrada digital que especifique el fabricante.

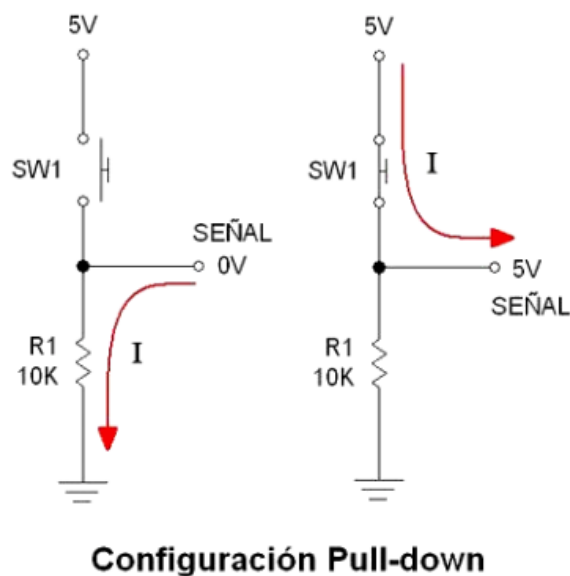


Ilustración 23 Configuración Pull-down

Fuente: <https://tallerelectronica.com/2017/03/13/resistencias-pull-uppull-down-en-circuitos-digitales/>

Para conectar el pin del Arduino con el LED correspondiente, se dispusieron resistencias de  $330 \Omega$  para limitar la corriente, que se encuentra dada por la siguiente Ecuación.

Ecuación 2: Cálculo de corriente para los Leds

$$R = \frac{V_{in} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

Ecuación 4 Calcula de la resistencia de un LED

Donde:

- $I_{LED}$ : corriente que atraviesa el Led.
- $V_{in}$ : voltaje que alimenta tanto al Led como a la resistencia.
- $V_{LED}$ : voltaje que cae en el Led cuando está encendido.
- $R$ : resistencia en serie con el Led.

A continuación, se muestra un extracto del código elaborado para que el controlador interprete las señales de encendido.

```
int BOTONEN = 30;
int LEDEN = 3;
void setup() {
  pinMode (BOTONEN, INPUT);
  pinMode (LEDEN, OUTPUT);
```

```
void loop() {  
  if (digitalRead(BOTONEN) == HIGH){  
    digitalWrite(LEDEN, HIGH);  
  } else  
    digitalWrite(LEDEN, LOW);  
}
```

### 5.2.1.3 Sensor ultrasónico

Para poder tener un control del nivel de agua y que este sea muy preciso se colocó un sensor ultrasónico que permite tener un rango amplio para que el controlador pueda realizar las diferentes funciones dependiendo del nivel, a su vez se puede visualizar e interpretar de manera porcentual y es fácil para el usuario.

Este sensor cuenta con un transmisor y un receptor, este usa ondas de sonido a alta frecuencia para detectar la distancia de un objeto a una frecuencia de 40 KHz, esto hace que la onda rebote contra el agua y se pueda medir el tiempo que tarda en recibir la señal, con estos parámetros se calcula la distancia. Este sensor cuenta con 4 pines, dos de alimentación VCC y GND, el disparo de la señal lo realiza la patilla de Trig y por el pin echo obtuvo otro pulso indicando que la señal fue recibida.



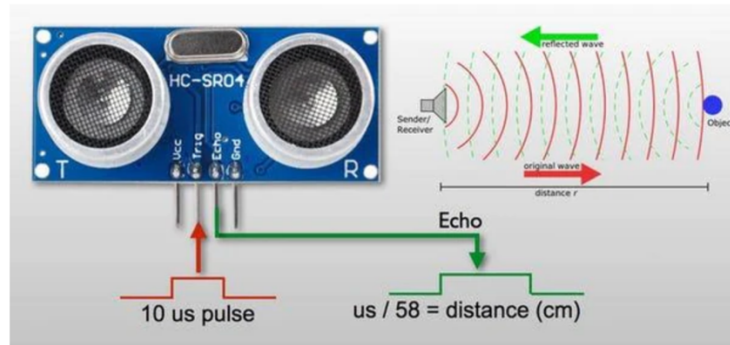
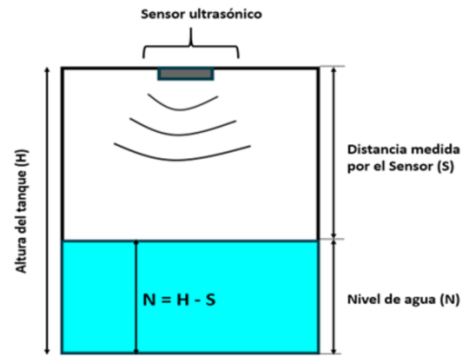


Ilustración 24 Sensor ultrasónico en el tanque de agua y funcionamiento del sensor

Fuente: <https://www.sysadminsdecuba.com/2020/03/controlador-de-nivel-de-agua-en-tanque-con-sensor-ultrasonico-y-arduino/>

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes

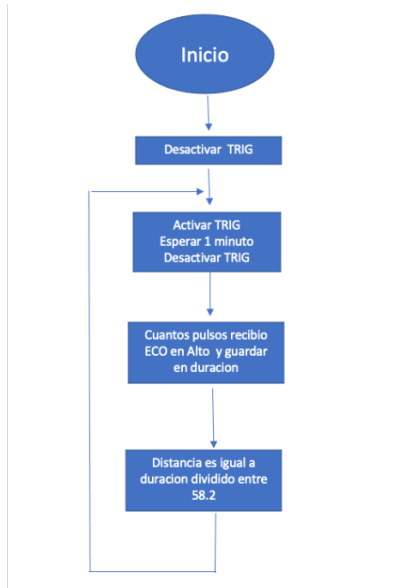


Ilustración 25 Diagrama de flujo sensor ultrasónico

Fuente Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan el componente y la alimentación.

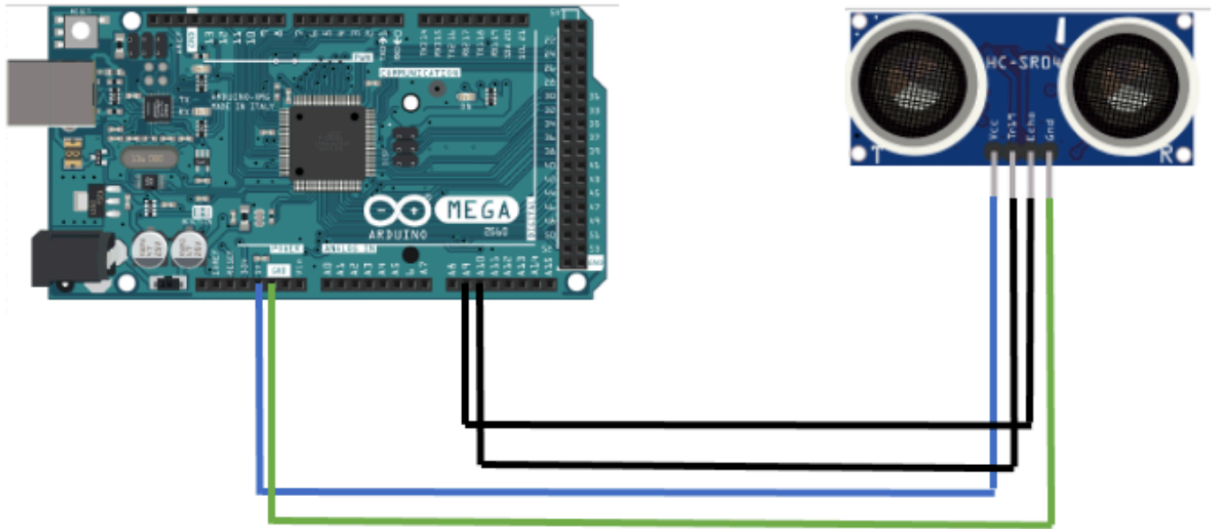


Ilustración 26 Diagrama de conexiones sensor ultrasónico

fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra un extracto del código para que el controlador interprete las señales enviadas por el sensor ultrasónico.

```

int TRIG = 10;

int ECO = 9;

int DURACION;

int DISTANCIA;

void setup() {
  pinMode(TRIG, OUTPUT);
  pinMode (ECO, INPUT);
  digitalWrite(TRIG, LOW);
}

void loop() {
  digitalWrite(TRIG, HIGH);

  delay(1);

  digitalWrite(TRIG, LOW);

  DURACION = pulseIn(ECO, HIGH);

```

```
DISTANCIA = DURACION / 58.2;

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Nivel de tanque: ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(DISTANCIA);

lcd.print(" cm");

delay(4000);

lcd.clear();

}
```

#### 5.2.1.4 Control de válvula de solenoide y bombas de agua

Para evitar el paso de flujo de agua se utilizan las válvulas de solenoide, ya que estas por medio de un pulso detienen el paso del fluido, en este caso de agua.

Para controlar las válvulas se colocaron módulos de 4 relés en posición normalmente abiertos, ya que estas trabajan a 12 V y las salidas del Arduino Mega pueden entregar como máximo 5 V, para dichos elementos se utilizó un adaptador de 12 V.

Para controlar el encendido y apagado de las bombas se utilizó un módulo de 2 relés y se colocó un sensor de contacto en la torre de enfriamiento para indicar cuando deben trabajar las bombas, tanto la de agua potable como tanque de captación.

En la siguiente ilustración se muestra la colocación de las válvulas y las bombas en los tanques de agua.

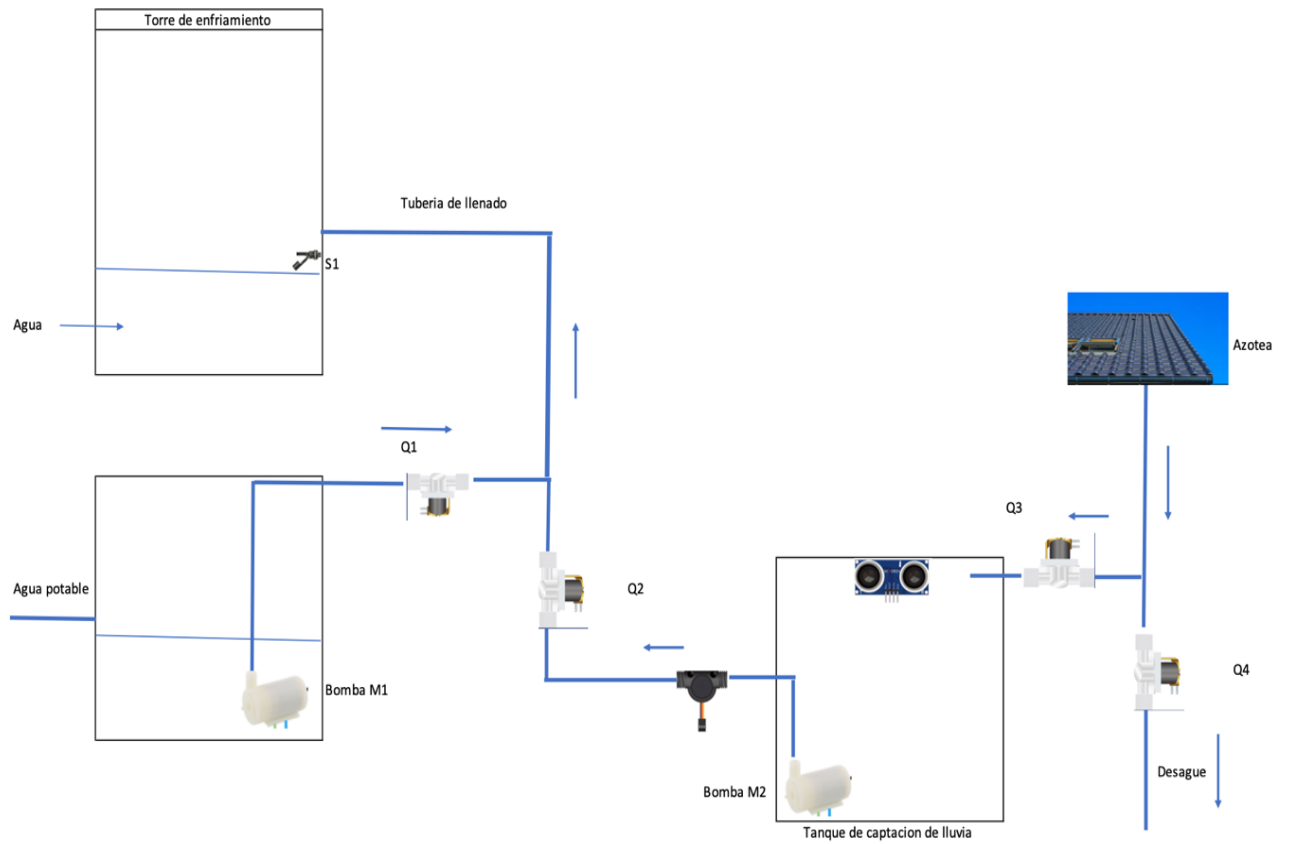


Ilustración 27 Control de válvulas y bombas

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes a diferentes escenarios.

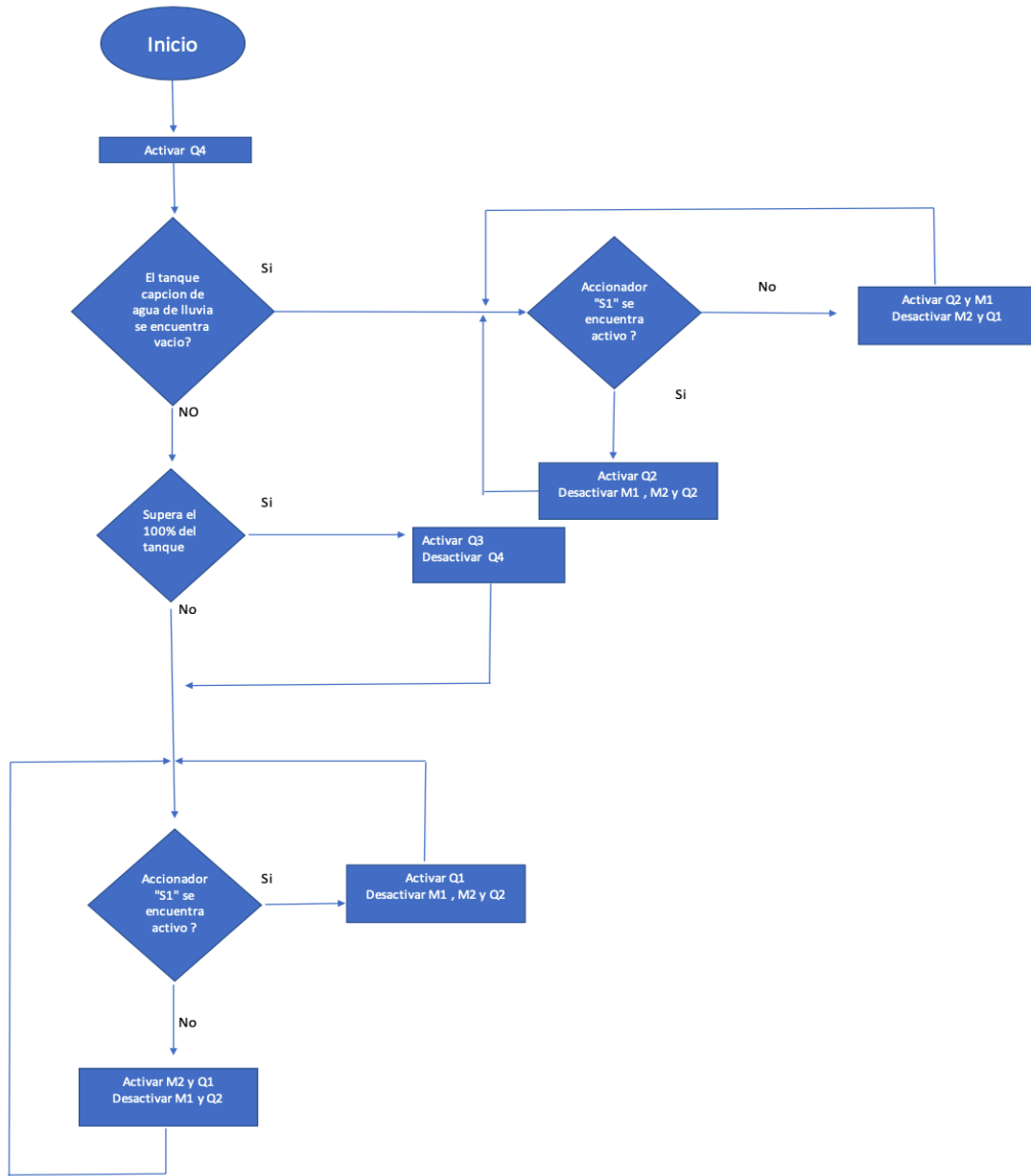


Ilustración 28 Diagrama de flujo prototipo

Fuente Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan los componentes y las alimentaciones.

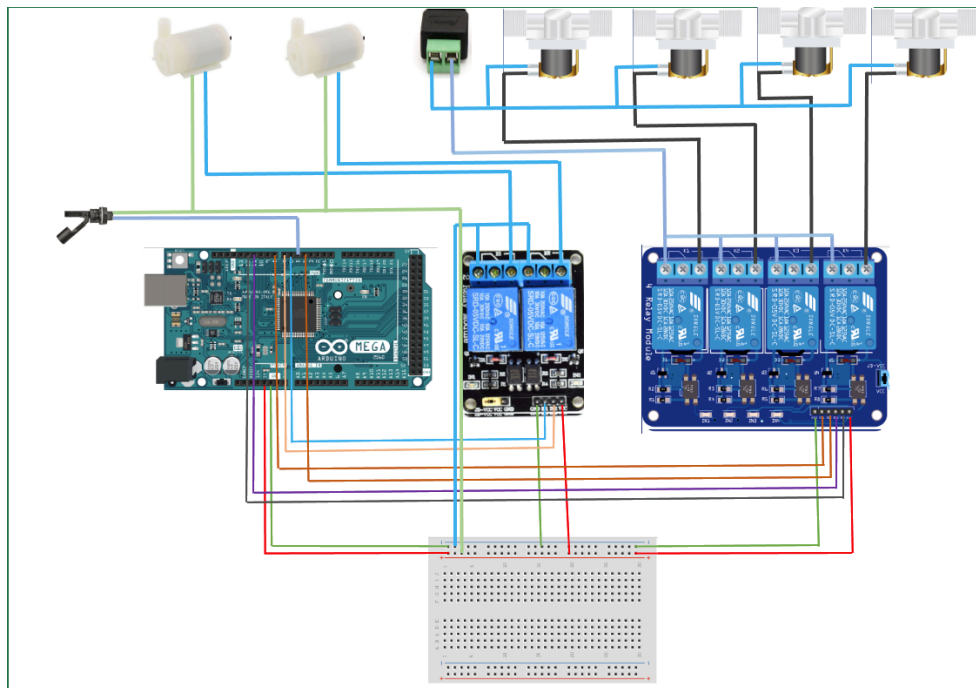


Ilustración 29 Control de válvulas solenoides y bombas

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra un extracto del código para poder que el controlador envíe las señales a los módulos de relés.

```
int Q2 = 4;
int S1 = 5;
int M1 = 6;
int M2 = 7;
```

```

int Q1 = 8;

int Q3 = 11;

int Q4 = 12;

void setup() {
pinMode (Q2, OUTPUT);
pinMode (S1,INPUT);
pinMode (M1, OUTPUT);
pinMode (M2, OUTPUT);
pinMode (Q1, OUTPUT);
pinMode (Q3, OUTPUT);
pinMode (Q4, OUTPUT);
digitalWrite(Q1, HIGH);
digitalWrite(Q2, HIGH);
digitalWrite(Q3, HIGH);
digitalWrite(Q4, LOW);
digitalWrite(M1, HIGH);
digitalWrite(M2, HIGH);
}

void loop() {

if (DISTANCIA <= 30 && DISTANCIA >= 20){
digitalWrite(M2, HIGH);
digitalWrite(Q2, LOW);
digitalWrite(Q1, HIGH);
digitalWrite(Q4, LOW);
if (digitalRead(S1) == LOW){
digitalWrite(M1, LOW);
}
}
}

```



```

else {
digitalWrite(M1, HIGH);
}
}
else {
if (DISTANCIA <=20 && DISTANCIA >=10){
digitalWrite(M1, HIGH);
digitalWrite(Q1, LOW);
digitalWrite(Q2, HIGH);
digitalWrite(Q4, LOW);
if (digitalRead(S1) == LOW){
digitalWrite(M2, LOW);
}
else {
digitalWrite(M2, HIGH);
}
}
else {
if (DISTANCIA <= 10 && DISTANCIA >= 5){
digitalWrite(M1, HIGH);
digitalWrite(Q2, HIGH);
digitalWrite(Q1, LOW);
digitalWrite(Q3, LOW);
digitalWrite(Q4, HIGH);
if (digitalRead (S1) == LOW){
digitalWrite(M2, LOW);
}
else {
digitalWrite(M2, HIGH);
}
}
}
}
}

```

```
}  
}  
}  
}  
Serial.print("La medición es: ");  
Serial.println(DISTANCIA);  
delay(500);  
} else  
  digitalWrite(LEDEN, LOW);  
}
```

#### 5.2.1.5 Sensor de flujo de agua

El sensor cuenta con rotor de agua y un sensor de efecto Hall, cuando el agua fluye a través del rotor, esta rueda aumentando su velocidad esto cambia a una diferente tasa de flujo provocando que el sensor de una salida al impulso correspondiente a la señal que tiene una precisión del 3%.

Ya teniendo la medición del sensor de flujo se convierte en litros para llevar el historial de la medida, este valor es un registro que se almacena en la memoria SD, dicho dato se puede visualizar en una computadora. Para esto también se requiere la fecha, utilizando el módulo de reloj brinda la información a la SD para poder tener el valor en litros con la fecha de la medición con esto poder realizar una gráfica y tener los litros por mes suministrados. Se utilizó la memoria

EEPROM para guardar la primera medición del sensor de flujo esto para no perder la información si se desconecta el circuito o se extrae la memoria SD.



Ilustración 30 Sensor de flujo de agua

Fuente <https://proyectosconarduino.com/sensores/flujo-caudalimetro/>

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes

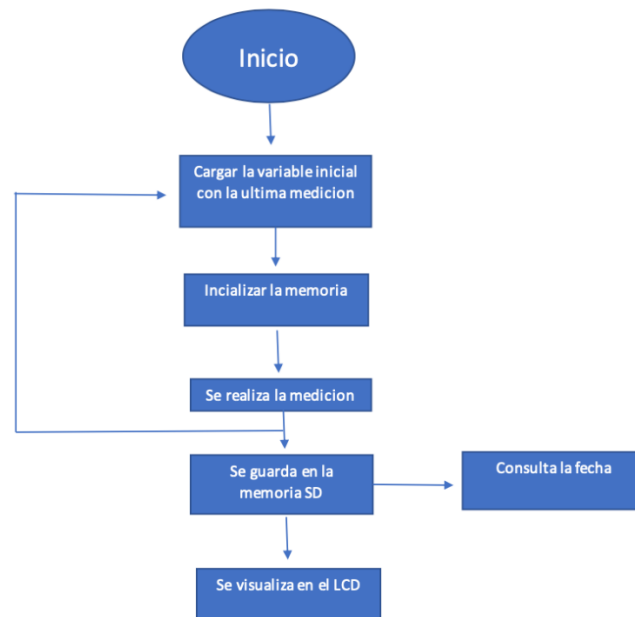


Ilustración 31 Flujograma del sensor de flujo.

Fuente Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan los componentes y las alimentaciones.

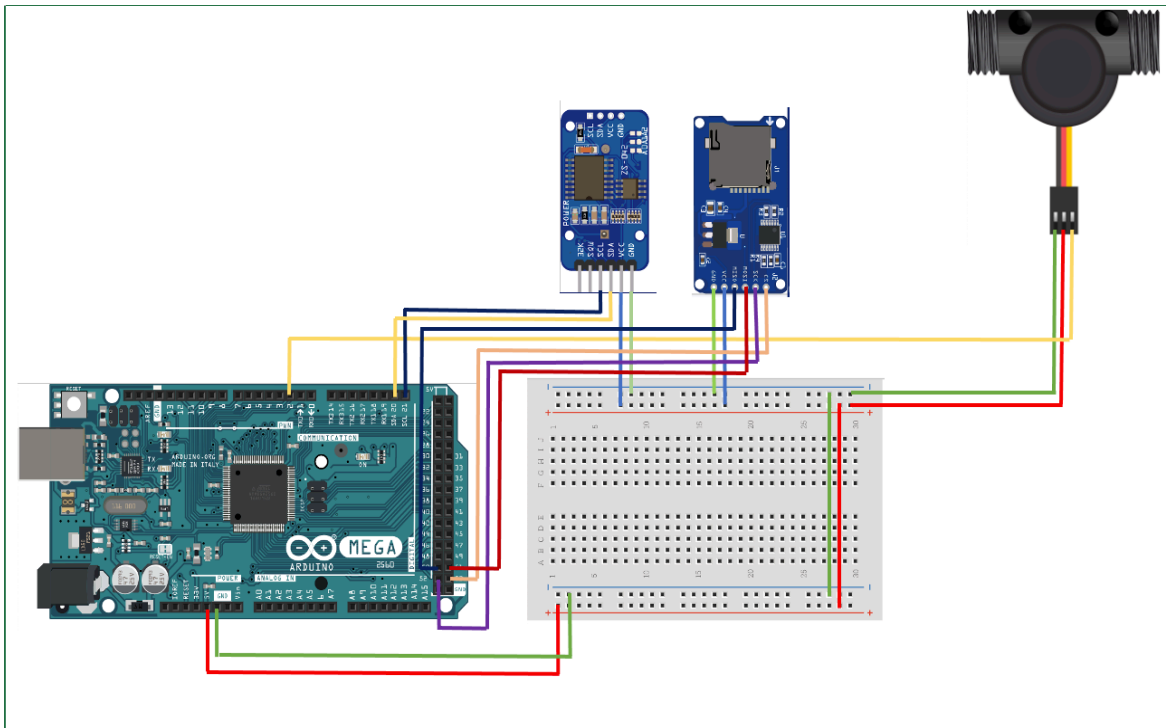


Ilustración 32 Circuito de sensor de flujo

Fuente Elaboración propia

A continuación, se muestra un extracto del código elaborado para poder que el controlador envíe la señal del sensor de flujo y la SD guardé la información proporcionada por el sensor y el módulo de reloj.

```
#include <EEPROM.h>

#include <SD.h>

#include <SPI.h>

#include <RTClib.h>

#include <Wire.h>

#include<LiquidCrystal_I2C.h> //Libreria del LCD

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

File myFile;

volatile double waterFlow;
```

```

RTC_DS3231 rtc;

void setup() {

waterFlow = EEPROM.get(0,waterFlow);
attachInterrupt ( 0, pulse, RISING);
rtc.begin();
rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); // Adjunta el hora y dia
pinMode (pinCS, OUTPUT);
if (SD.begin())
{
Serial.println("SD card esta lista.");
}
else{
Serial.println("SDcard no lista.");
return;
}
}

void pulse()
{
waterFlow += 1.0 / 450.0; // medicion de cantidad de agua
}

myFile = SD.open("Prueba3.txt",FILE_WRITE);
DateTime fecha = rtc.now();
myFile.print("Fecha: ");
myFile.print(fecha.day());
myFile.print("/");
myFile.print(fecha.month());
myFile.print("/");
myFile.print(fecha.year());
}

```

```
myFile.print(",");  
  
myFile.println(waterFlow);  
  
myFile.close();  
  
EEPROM.put(0, waterFlow);  
  
lcd.setCursor(0, 0);  
  
lcd.print("Medicion de agua: ");  
  
lcd.setCursor(0,1);  
  
lcd.print(waterFlow);  
  
lcd.print(" L");  
  
delay(4000);  
  
lcd.clear();  
  
}
```

#### 5.2.1.6 Sensor de gotas de lluvia

Para el censado de las gotas de lluvia, se utilizó un el sensor FC-37. Este tipo de sensores detectan la presencia de lluvia por la variación de conductividad del sensor al entrar en contacto con el agua. Con este equipo se determina cuándo está lloviendo en la azotea sin necesidad de ir al lugar.

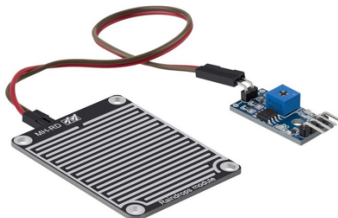


Ilustración 33 Sensor de gotas de lluvia

Fuente <https://www.steren.cr/sensor-de-lluvia.html>

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes a diferentes escenarios

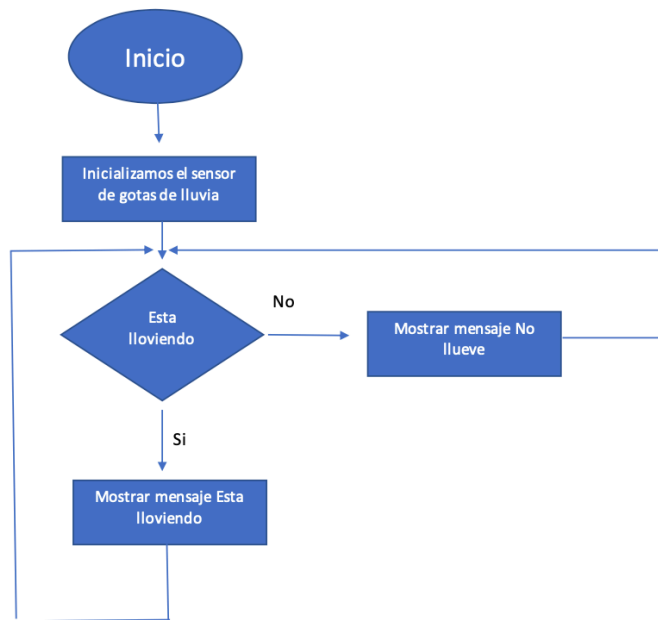


Ilustración 34 Diagrama de flujo sensor de gotas de agua

Fuente Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan los componentes y las alimentaciones.



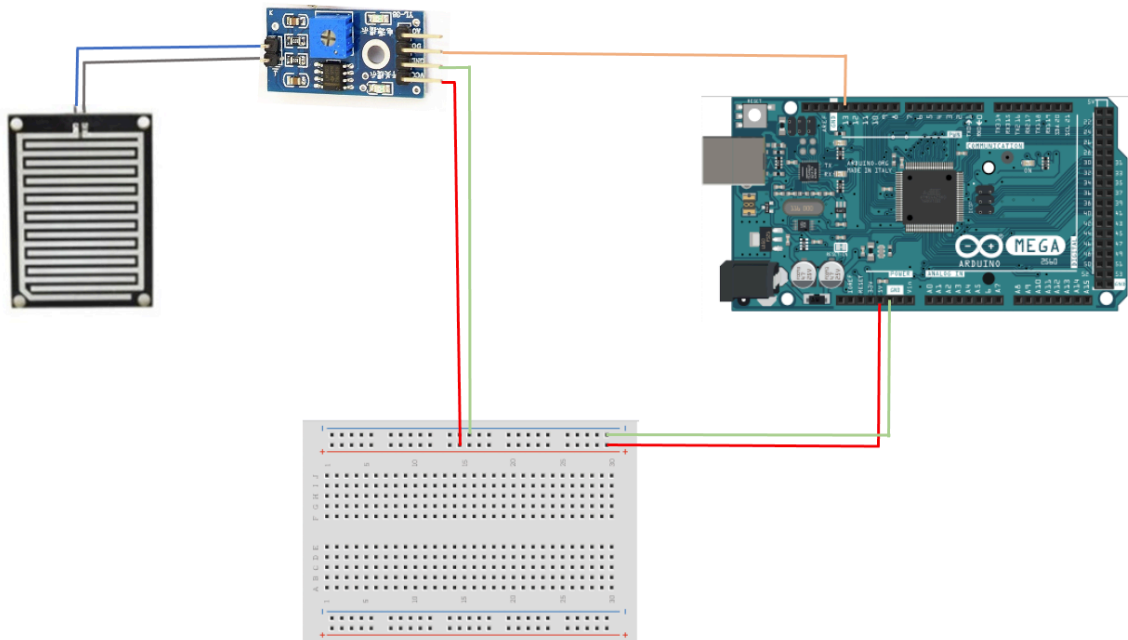


Ilustración 35 Conexiones del sensor de gotas de agua

Fuente Elaboración propia

A continuación, se muestra un extracto del código para poder que el controlador envíe la señal del sensor de gotas de agua.

```
int lluvia = 13;

void setup() {
  pinMode (lluvia, OUTPUT);
}

void loop() {
  lluviasensor = analogRead(A1); // SENSOR DE LLUVIA
  if (lluviasensor <= 1023 && lluviasensor >= 800){
    digitalWrite(lluvia, LOW);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("No llueve");
    delay(4000);
  }
}
```

```
    lcd.clear();  
}  
else {  
    digitalWrite(lluvia, HIGH);  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Esta lloviendo");  
    delay(4000);  
    lcd.clear();  
}
```

#### 5.2.1.7 Sensor de conductividad.

Al tener agua de lluvia almacenada la conductividad del agua se convierte en un factor muy importante, ya que a no tener minerales puede afectar los componentes. Para dicha medición se utiliza el sensor de humedad como este mide la resistencia para determinar la humedad y en capítulos anteriores se indicó que la conductividad es el inverso de la resistencia obteniendo la conductividad del agua.

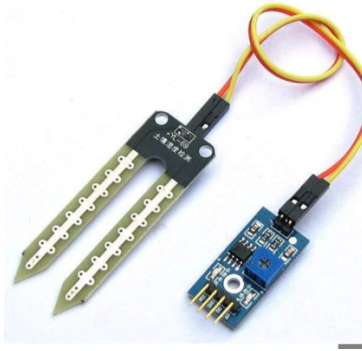


Ilustración 36 Sensor de conductividad

fuelle <https://techmake.com/blogs/tutoriales/diy-desde-casa-5a-sensor-de-humedad-de-tierra>

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes



Ilustración 37 Diagrama de flujo sensor de conductividad

Fuente Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan los componentes y las alimentaciones.

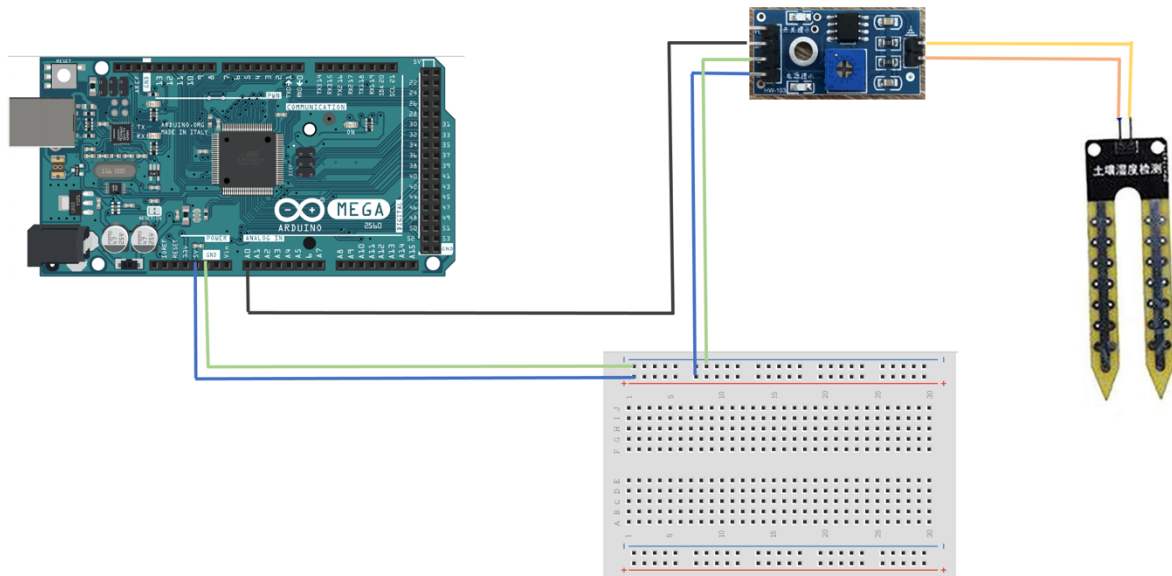


Ilustración 38 Conexiones Sensor de conductividad

Fuentes Elaboración propia

A continuación, se muestra un extracto del código para poder que el controlador envíe la señal del sensor de conductividad.

```
void loop() {  
  
lectura = analogRead(A0);  
  
lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);  
  
lcd.setCursor(0, 0);  
  
lcd.print("Conductividad: ");  
  
lcd.print(lecturaPorcentaje);  
  
lcd.print("%");  
  
}
```

### 5.2.1.8 LCD.

Para la visualización de los parámetros se utilizó un LCD de 16x2 con I2C esto para no utilizar muchos pines de entradas.



Ilustración 39 LCD 16x2 I2C

Fuente <https://www.okuelectronics.com/shop/16x2-lcd-display-blue-with-i2c-backpack-5v/>

El siguiente diagrama de flujo indica el comportamiento de los componentes

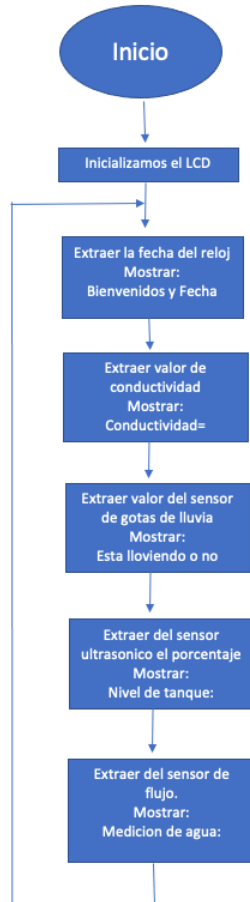


Ilustración 40 Diagrama de flujo LCD.

Fuente Elaboración propia

En la siguiente ilustración se muestra la implementación del circuito en el Arduino donde se conectan los componentes y las alimentaciones.

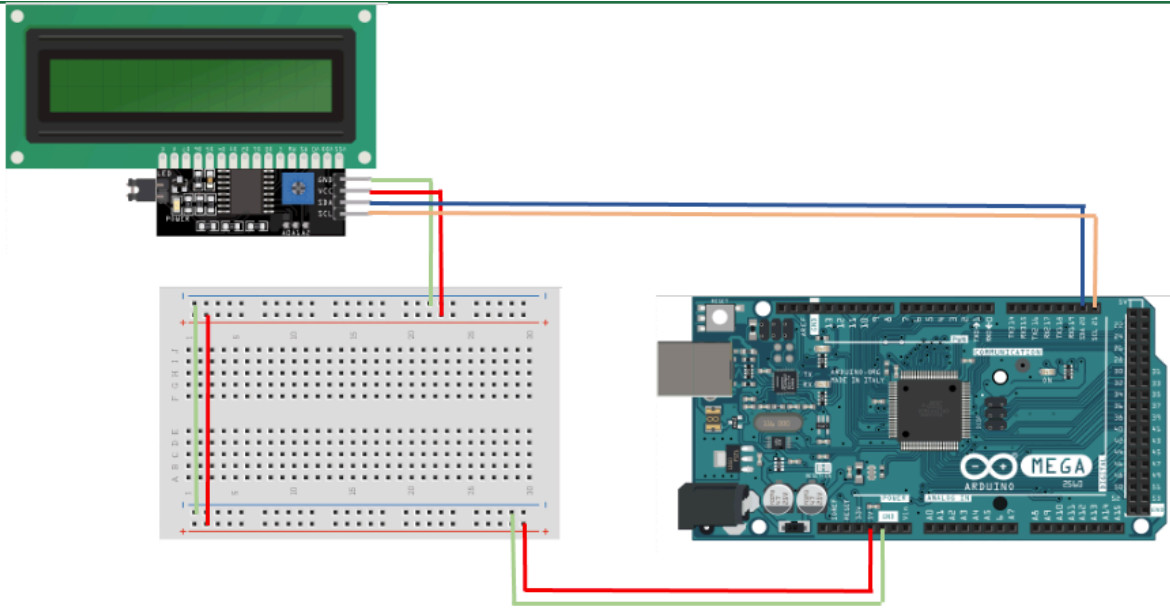


Ilustración 41 Conexiones LCD 16 x 2

Fuente; Elaboración Propia

A continuación, se muestra un extracto del código para poder que el controlador envíe la señales al LCD.

```
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

void loop() {
if (digitalRead(BOTONEN) == HIGH){
  myFile = SD.open("Prueba3.txt",FILE_WRITE);
  DateTime fecha = rtc.now();
  myFile.print("Fecha: ");
  myFile.print(fecha.day());
  myFile.print("/");
  myFile.print(fecha.month());
  myFile.print("/");
  myFile.print(fecha.year());
```

```

myFile.print(", ");

myFile.println(waterFlow);

myFile.close();

digitalWrite(LEDEN, HIGH);

EEPROM.put(0, waterFlow);

Serial.println("valor guardado en:");

Serial.println(EEPROM.get(0,waterFlow));

Serial.println(" ");

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Bienvenidos");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print("Fecha: ");

lcd.print(fechar.day());

lcd.print("/");

lcd.print(fechar.month());

lcd.print("/");

lcd.print (fechar.year());

delay(4000);

lcd.clear();

lectura = analogRead(A0);

lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Conductividad: ");

lcd.print(lecturaPorcentaje);

lcd.print("%");

lluviasensor = analogRead(A1);

if (lluviasensor <= 1023 && lluviasensor >= 800){

    digitalWrite(lluvia, LOW);

    lcd.setCursor(0, 1);

```



```

    lcd.print("No llueve");

    delay(4000);

    lcd.clear();
}

else {

    digitalWrite(lluvia, HIGH);

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("Esta lloviendo");

    delay(4000);

    lcd.clear();

}

digitalWrite(TRIG, HIGH);

delay(1);

digitalWrite(TRIG, LOW);

DURACION = pulseIn(ECO, HIGH);

DISTANCIA = DURACION / 58.2;

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Nivel de tanque: ");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(DISTANCIA);

lcd.print(" cm");

delay(4000);

lcd.clear();

delay(1000);

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print("Medicion de agua: ");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(waterFlow);

lcd.print(" L");

```

```
delay(4000);
```

```
lcd.clear();
```

### 5.3 Programación completa

Este programa inicia con la inclusión de librerías y la declaración de pines y variables. De igual forma, se inicializan los puertos seriales y seguidamente, se intenta establecer comunicación con el módulo de microSD.



Ilustración 42 Diagrama de flujo parte 1

Fuente Elaboración propia

Si fue exitoso, se espera a que el usuario presione el interruptor de encendido para que el programa siga su ejecución normal. En caso de que no se pudiera lograr esto por no existir una tarjeta microSD en el módulo el programa continúa sin guardar los datos de consumo de agua.

Una vez dentro del “pulse”, el sistema por medio del sensor de flujo va a empezar a medir la cantidad de agua que pase por él desde el tanque de captación a la torre de enfriamiento.

Seguidamente dentro del “loop”, el sistema espera el encendido, si no permanece apagado.

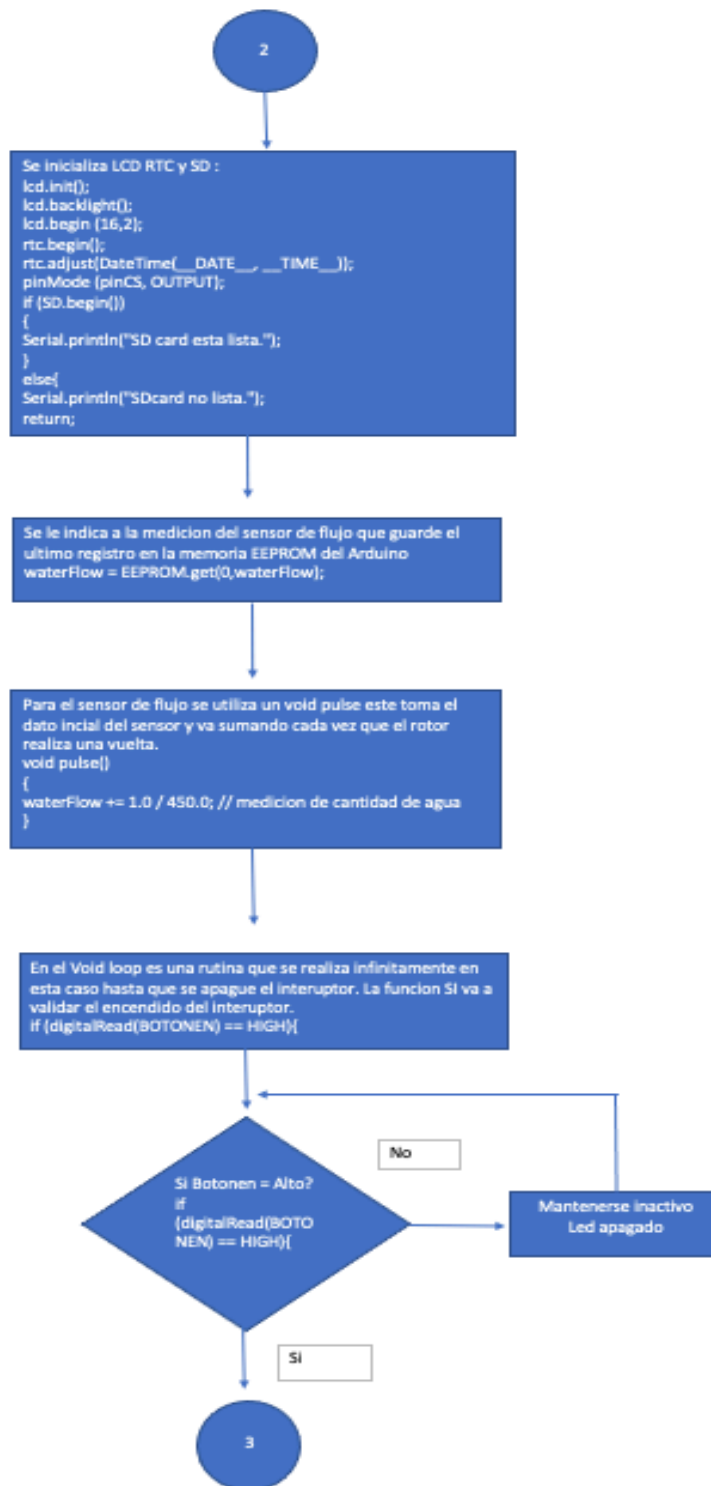


Ilustración 43 Diagrama de flujo parte 2

Fuente Elaboración propia

Después de recibir la señal en el pin de entrada del interruptor el sistema abre un archivo y le escribe el nombre Captación, este archivo es donde se va a llevar el registro del consumo de agua. Se le indica al Arduino que por medio del RCT utilice la fecha actual y escriba en el archivo el día, mes y año seguidamente el valor del sensor del flujo y por último cierre el archivo. Ahora para guardar el valor de la última medición en el sensor de flujo se guardará el valor en la memoria EEPROM del Arduino, así cuando el sistema se apaga por el usuario no perderá el dato.

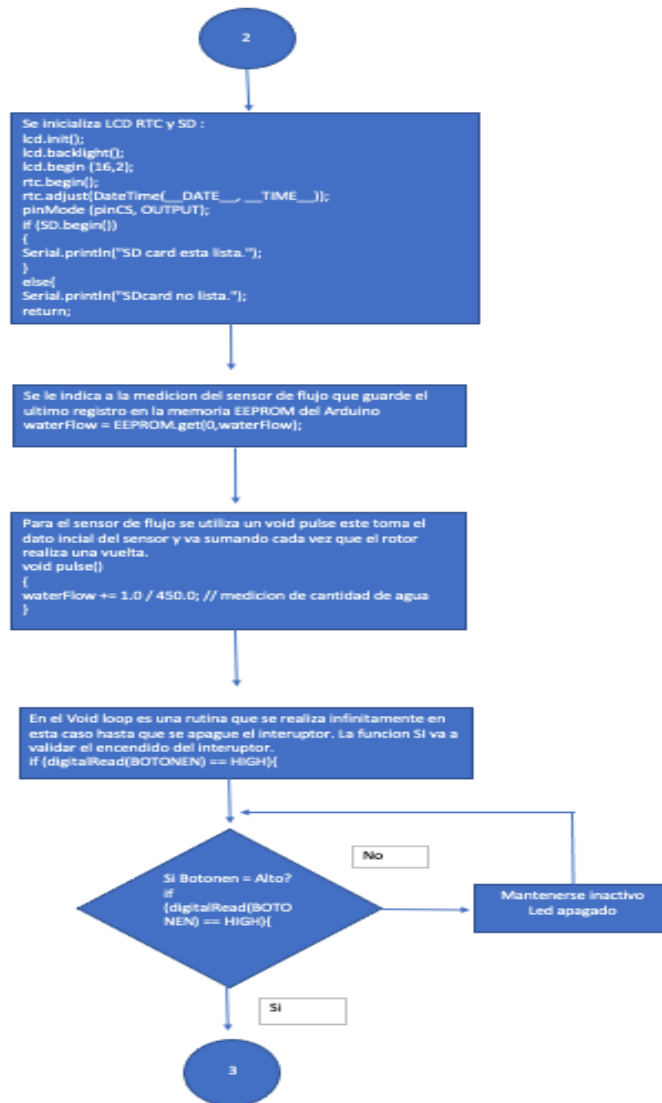


Ilustración 44 Diagrama de flujo parte 3

Fuente Elaboración propia

LCD muestra la frase “Bienvenidos” en el primer segmento del display en la segunda muestra la fecha tomando el dato del RCT, por unos 4 segundos limpia la pantalla. El Arduino toma la medición análoga del pin A0 para determinar la

conductividad del agua, después realiza una función Map para representar el valor en porcentual, mostrando el valor en el LCD.

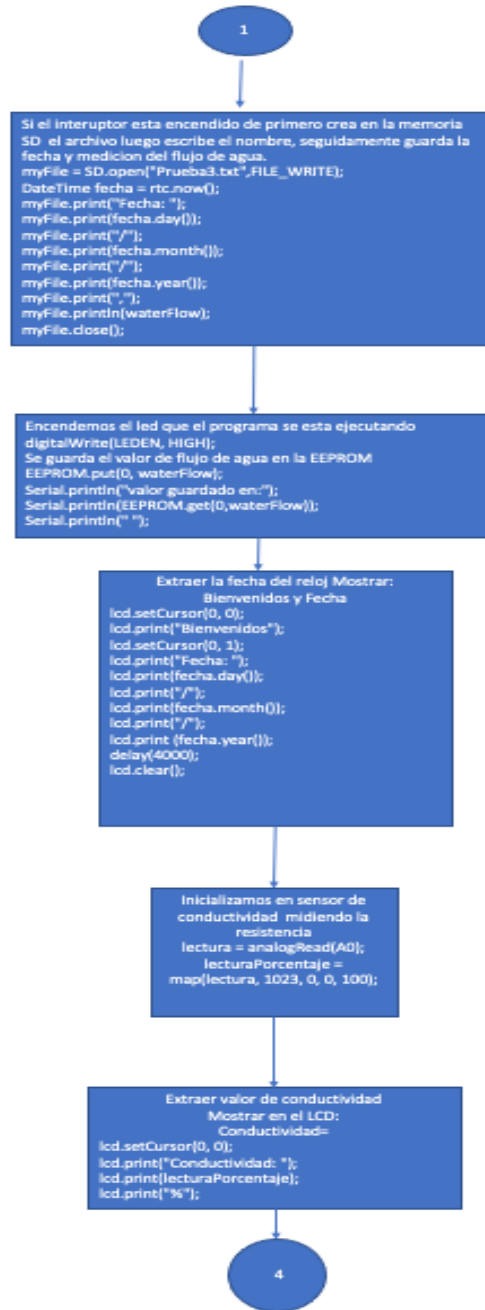


Ilustración 45 Diagrama de flujo parte 4

Fuente Elaboración propia



Para la medición de gotas de lluvia se toma la medición análoga del pin A1, seguidamente se realiza la función "SI" donde si el valor se encuentra dentro de los 800 a los 1023 indica en el LCD "No llueve", pero si el valor no se encuentra en este valor quiere decir "Está lloviendo" se debe recordar que el valor del sensor es de 0 a 1023.

Para el nivel del tanque de captación el sensor ultrasónico envía un pulso por medio del TRIG y recibéndolo por medio de ECO este tiempo nos dará una distancia, por medio del LCD se mostrará en pantalla esta medición en "cm", después de mostrar la distancia mostrará los litros que suministro el tanque.

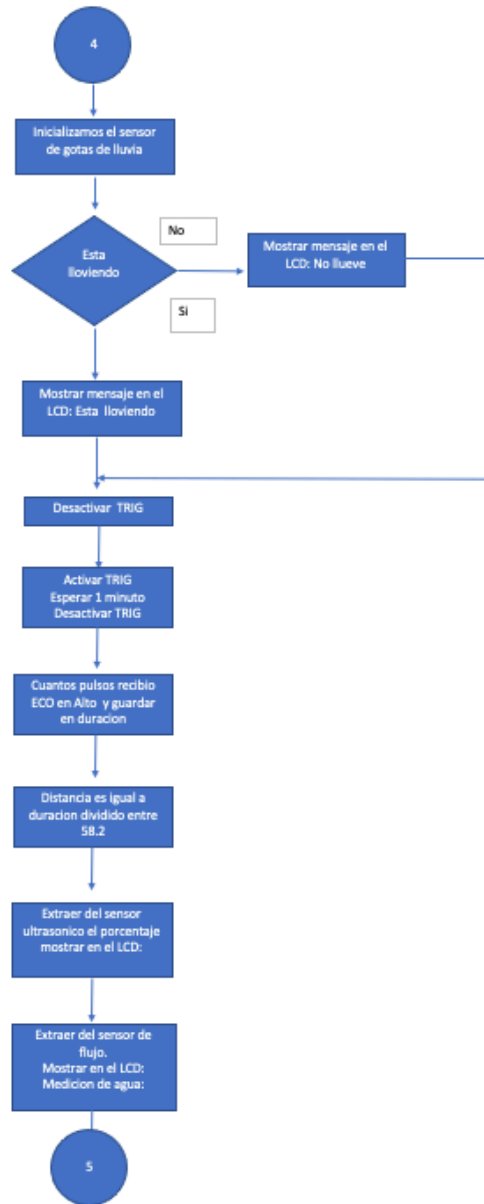


Ilustración 46 Diagrama de flujo parte 5

Fuente Elaboración propia

Ahora dependiendo del nivel del tanque el Arduino realizará diferentes operaciones, dentro de los 20 a 30 cm, quiere decir que se encuentra vacío por lo que se debe abastecer por medio del agua potable, para esto se debe activar las

válvulas solenoides Q2 y Q4, para determinar si debe encender la bomba M1 el seccionador S1 debe estar desactivado. Ver ilustración 26.

Para cuando el tanque se encuentre entre 10 y 20 cm, el tanque se encuentra medio lleno por lo que deben encender Q1 y Q4, para determinar si debe encender la bomba M2 el seccionador S1 debe estar desactivado. Ver ilustración 26. Si el tanque se encuentra dentro de 5 a 10 cm, el tanque se encuentra lleno por lo que se debe realizar el cierre de Q3 y la apertura de Q4 para que si está lloviendo el agua se desvíe al desagüe adicional debe seguir suministrando agua a la torre por lo que si S1 está desactivado deben estar encendida M1 y activos Q1 y Q3. Ver ilustración 26.

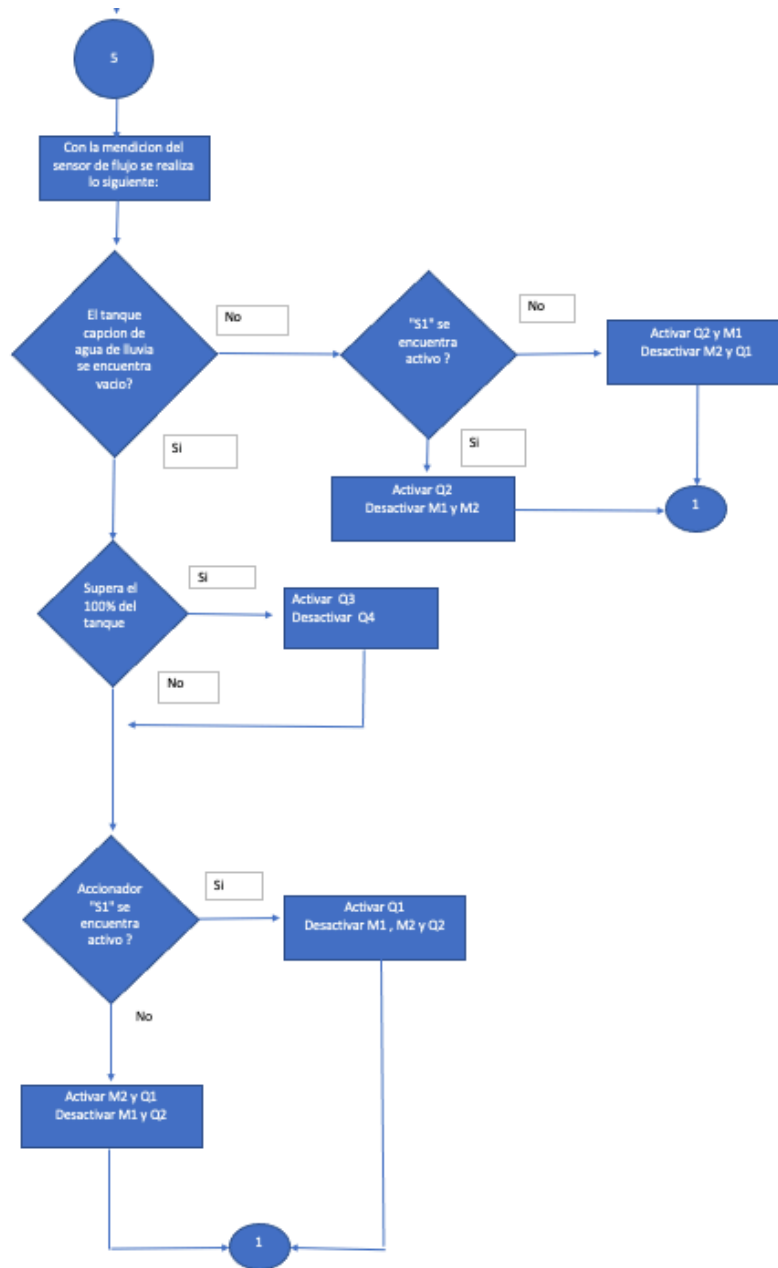


Ilustración 47 Diagrama de flujo parte 6

Fuente Elaboración propia

## 5.4 Estructura física

Este prototipo se encuentra conformado por dos secciones que son el módulo de control que constituye el LCD y todos los componentes electrónicos para el funcionamiento y la otra sección los tanques de almacenamiento de agua.



Ilustración 48 Prototipo

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.1 Módulo de control

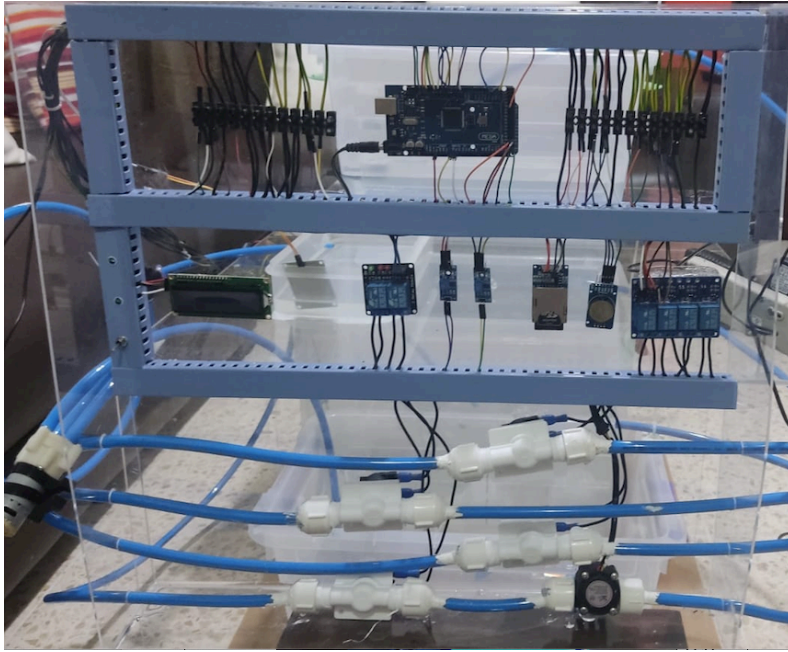


Ilustración 49 Módulo de control

Fuente Elaboración propia

Este módulo contiene lo que es el circuito con el cual se enciende el prototipo y se visualiza el funcionamiento por medio del LCD, adicional se encuentra un led de encendido y otro cuando hay presencia de lluvia.

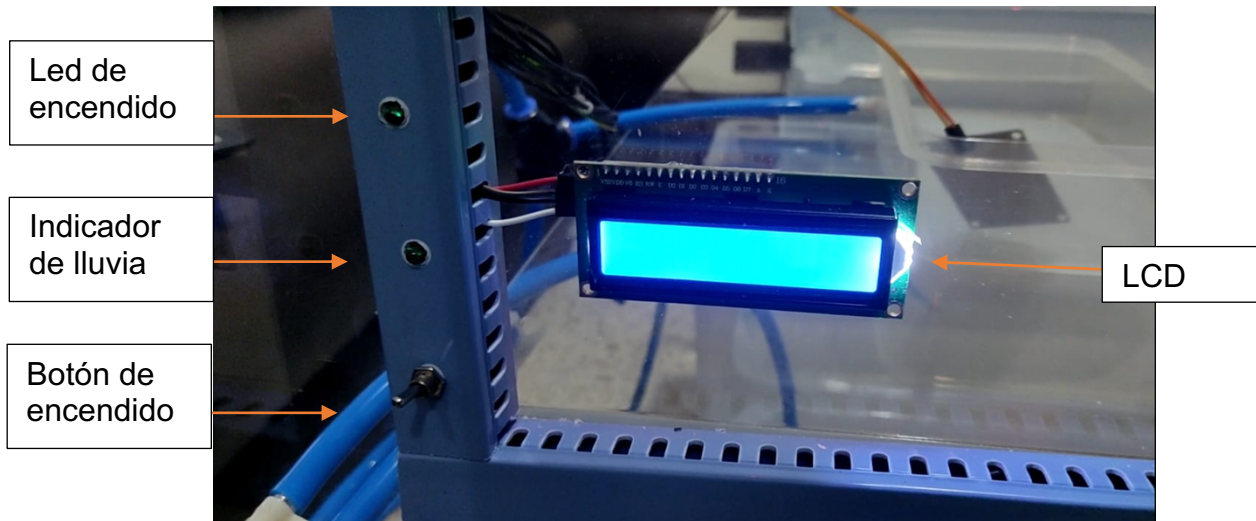


Ilustración 50 LED y LCD

Fuente Elaboración propia

Cuenta con todos los módulos necesarios para llevar a cabo las distintas funciones, los cuales son el Arduino Mega, reloj de tiempo real, módulo de microSD, módulo de relés de 2 y 4, módulo de conductividad y módulo de sensor de lluvia.

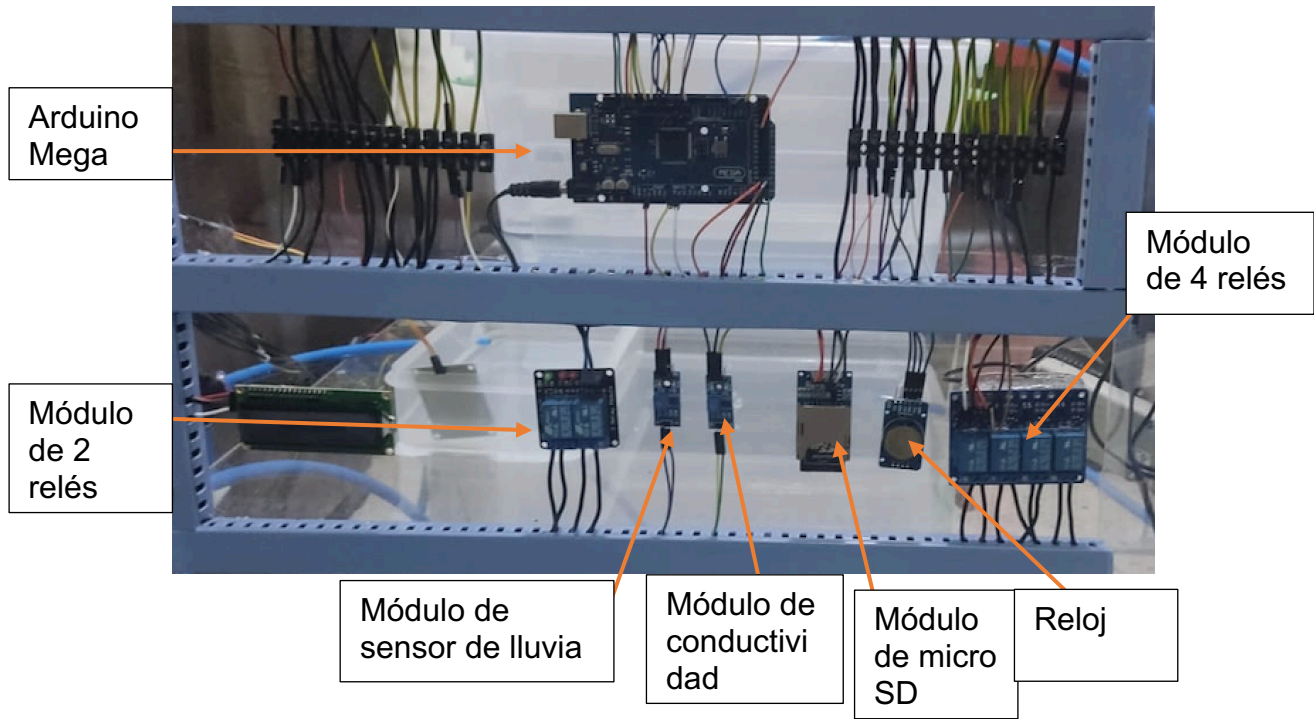


Ilustración 51 Partes del prototipo

Fuente: Elaboración propia

En la parte inferior se encuentra las válvulas de solenoides y el sensor de flujo de agua.



Ilustración 52 Válvulas de solenoide

Fuente: Elaboración propia



#### 5.4.2 Tanques de almacenamiento.

En módulo contiene una bandeja simulando el techo, sensor de lluvia, bandeja simulando la torre de enfriamiento, bandeja de tanque de agua potable, bandeja de tanque de captación, sensor ultrasónico, bombas y sensor de conductividad.

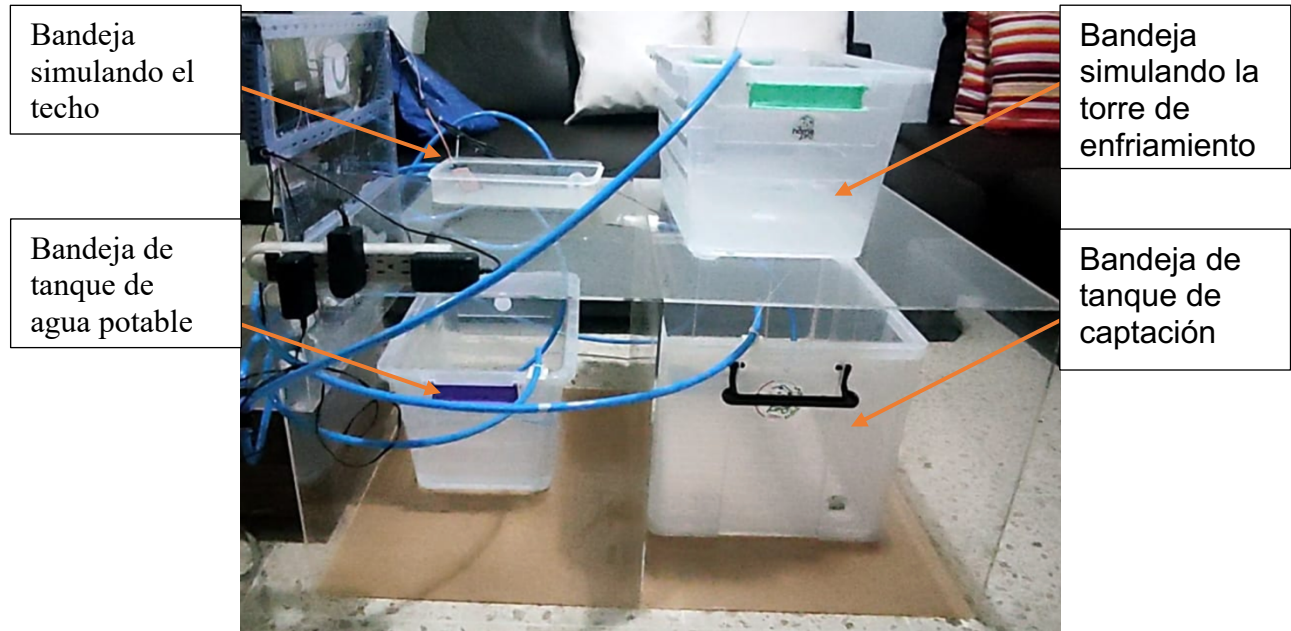


Ilustración 53 Tanque de almacenamiento

Fuente: Elaboración Propia

Sensor de  
lluvia

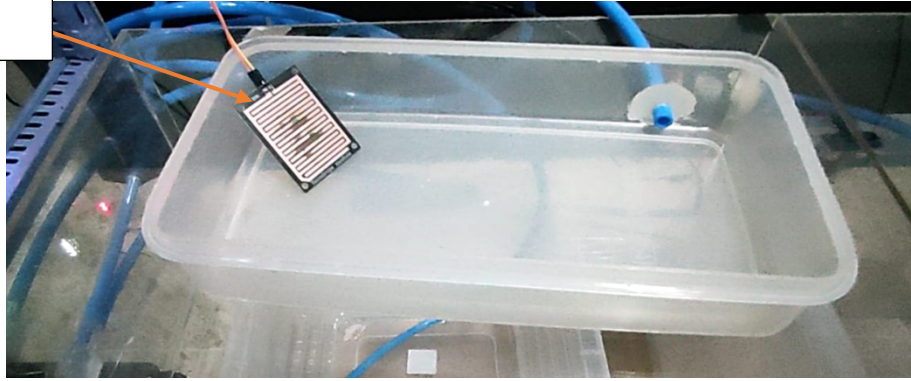


Ilustración 54 Sensor de lluvia

Fuente Elaboración propia

Sensor  
Ultrasónico

Sensor de  
conductividad

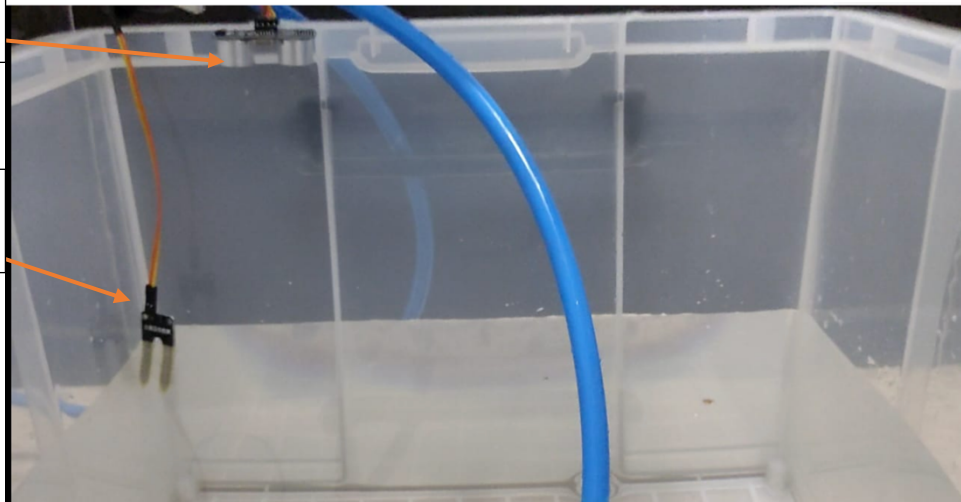


Ilustración 55 Sensores en el tanque de captación

Fuente Elaboración propia

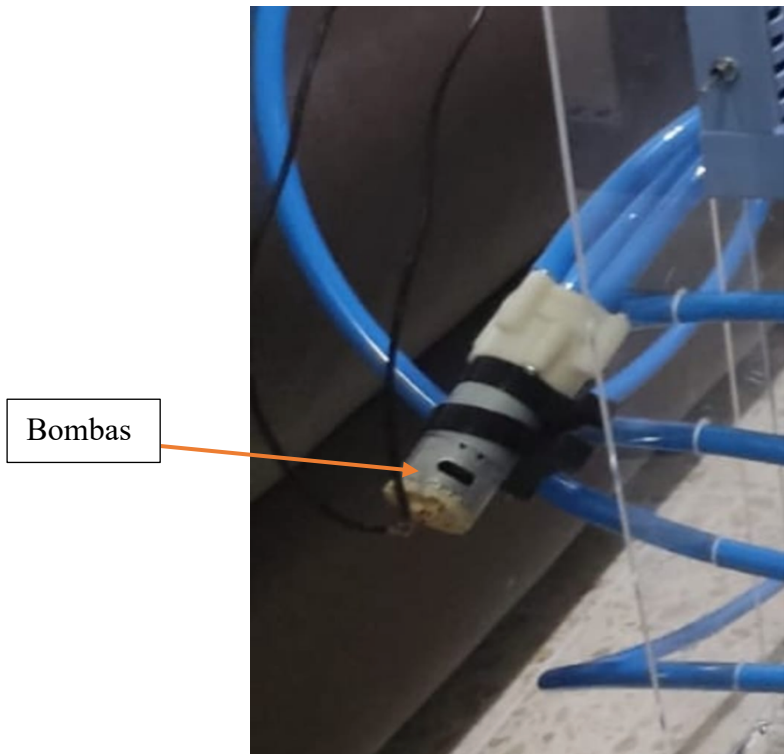


Ilustración 56 Bomba 2

Fuente Elaboración propia

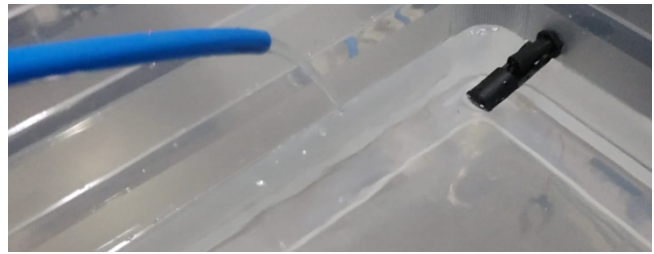


Ilustración 57 Llenado de la bandeja de la torre

Fuente Elaboración propia

Sensor de llenado

### 5.5 Pruebas de funcionamiento

Una vez ha sido completada la elaboración del prototipo, se procedió a verificar si el mismo cumplía satisfactoriamente con las funciones para las cuales fue diseñado. Aplicando diferentes pruebas cuyos resultados determinarán si las acciones que desempeña son las esperadas desde el momento de su diseño.

#### 5.5.1 Nivel del tanque de captación bajo.

En esta prueba el tanque de captación se encuentra en un nivel bajo, esto activa el funcionamiento del prototipo donde va a activar la bomba del tanque de agua potable y las válvulas de solenoide para permitir el flujo de agua.

Adicional observaremos el funcionamiento de los diferentes dispositivos.



Led de  
encendido

Ilustración 58 Prueba 1 Medición del tanque

Fuente Elaboración propia

Nivel de  
tanque.



Ilustración 59 Prueba 1 Conductividad y estado de lluvia  
Fuente Elaboración propia

Conductividad e  
indicación del  
estado del sensor  
de lluvia

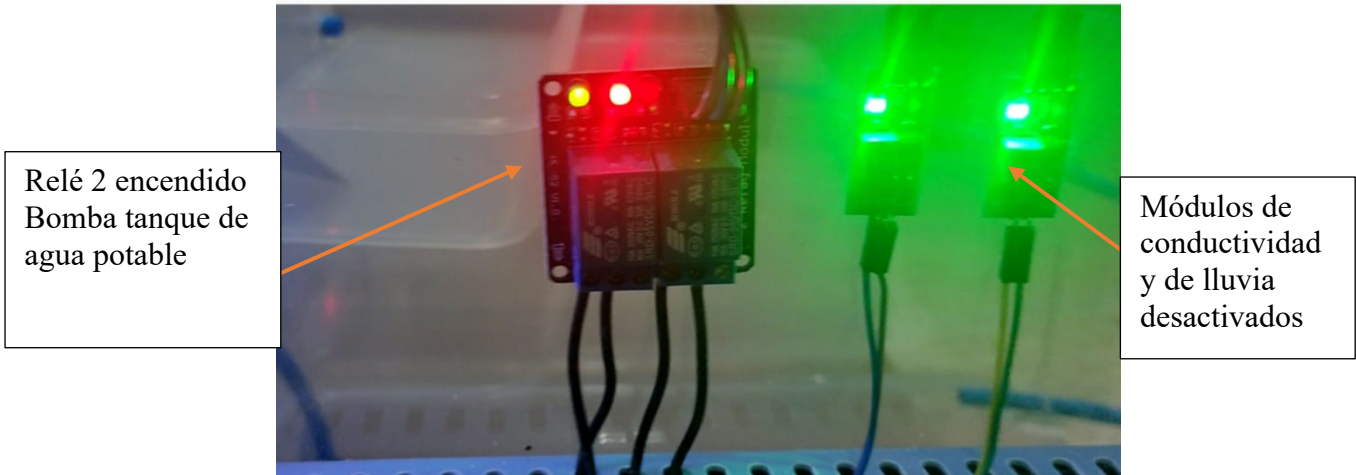


Ilustración 60 Prueba 1 Módulos de relés

Fuente Elaboración propia

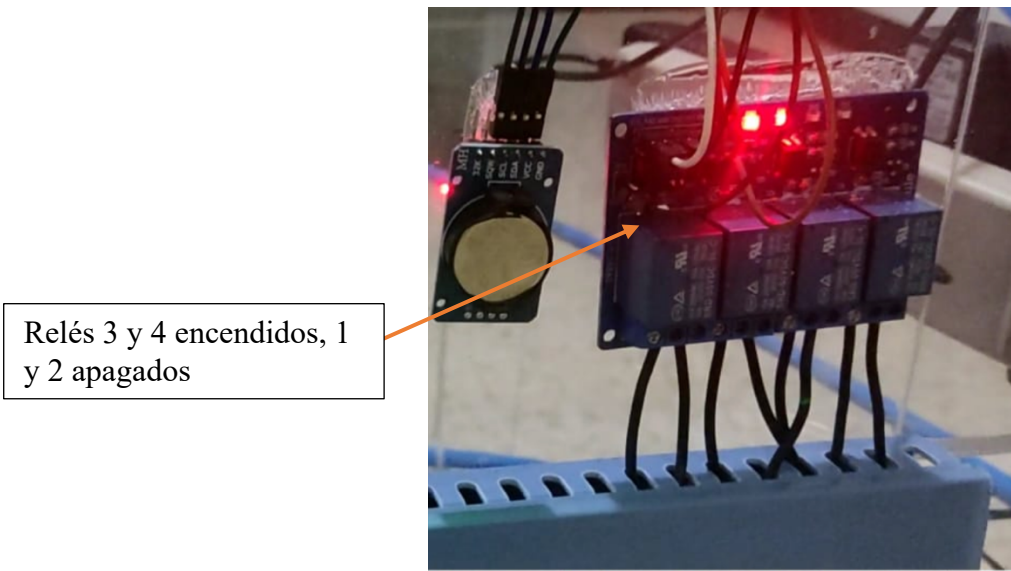
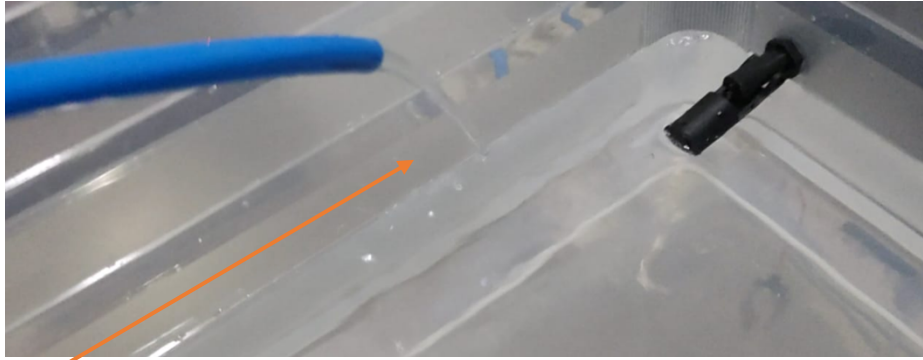


Ilustración 61 Prueba 1 Módulo de relés

Fuente Elaboración propia



Flujo de agua

Ilustración 62 Prueba 1 Flujo de agua.

Fuente Elaboración propia

Estado esperado	Estado durante la prueba	Cumple
Led de encendido activo	Led de encendido activo	Si
Nivel de tanque indicado	Nivel de tanque indicado: 31 cm	Si
Indicación de conductividad	Indica la conductividad	Si
Indicación de presencia de lluvia	Indica la no presencia de lluvia	Si
Activación de la bomba 2	Bomba activa	Si
Activación de Válvulas 3 y 4	Válvulas 3 y 4 activas	Si
Flujo de agua del tanque de agua potable a bandeja de la torre	Flujo de agua presente	Si

Tabla 5 Funcionamiento prueba 1

Fuente Elaboración propia

El funcionamiento es el correcto.

### 5.5.2 Nivel del tanque de captación lleno.

En esta prueba el tanque de captación está casi lleno por lo cual el llenado de la torre es por medio de la bomba 1 de toma el agua del tanque de captación y la envía a la torre de enfriamiento.

Adicional los sensores de conductividad y lluvia deben de encender para las mediciones.

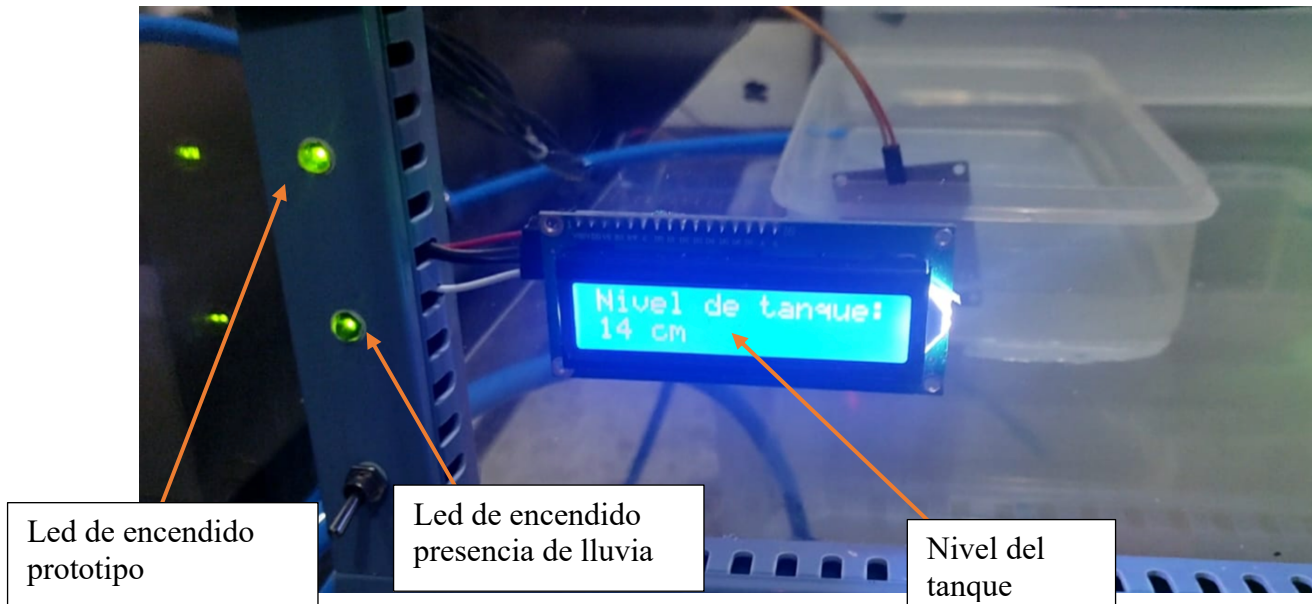


Ilustración 63 Prueba 2 Nivel de tanque

Fuente Elaboración propia





Ilustración 64 Prueba 2 Sensores de conductividad y estado de lluvia

Fuente: Elaboración propia

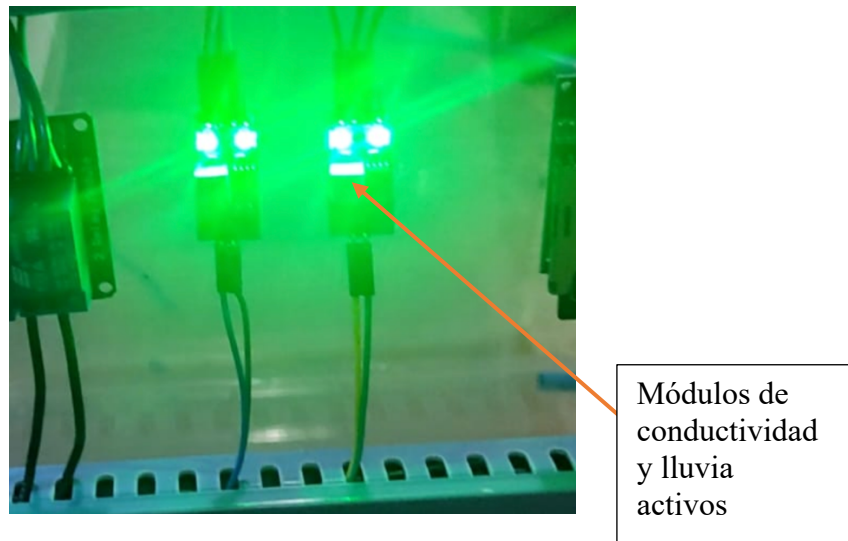
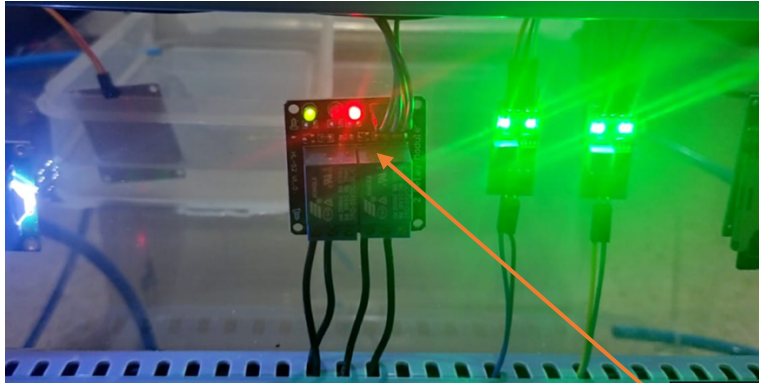


Ilustración 65 Prueba 2 Módulo de sensor de conductividad y lluvia

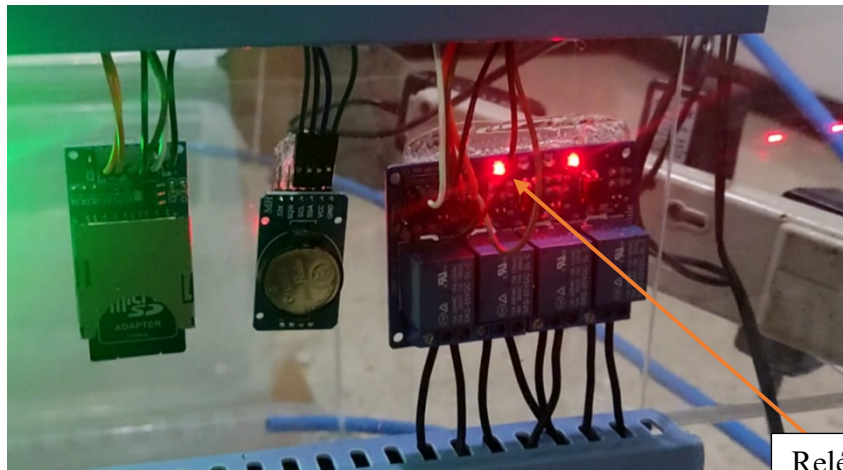
Fuente: Elaboración propia



Bomba 2  
encendida

Ilustración 66 Prueba 2 Módulo de dos relés

Fuente: Elaboración propia



Relés 4 y 1  
activos

Ilustración 67 Prueba 2 Módulo de 4 relés

Fuente: Elaboración propia

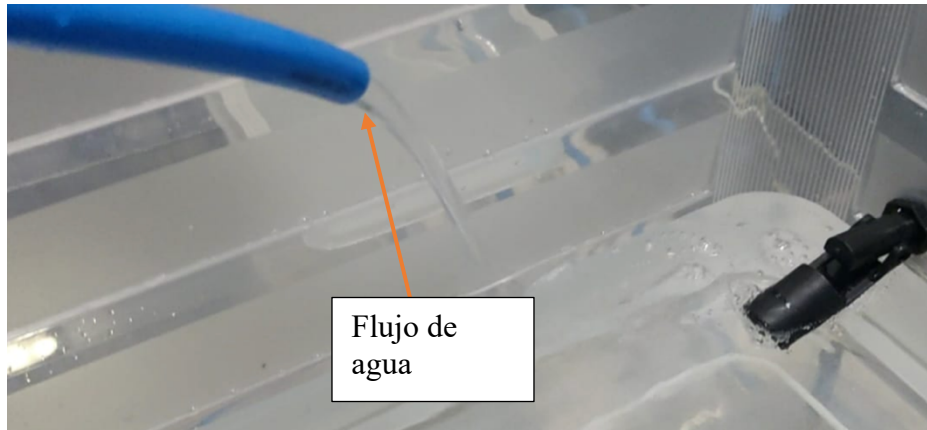


Ilustración 68 Prueba 2 Flujo de agua desde el tanque de captación

Fuente: Elaboración propia

Estado esperado	Estado durante la prueba	Cumple
Led de encendido activo	Led de encendido activo	Si
Nivel de tanque indicado	Nivel de tanque indicado: 14 cm	Si
Indicación de conductividad	Indica la conductividad	Si
Indicación de presencia de lluvia	Indica la no presencia de lluvia	Si
Activación de la bomba 1	Bomba activa	Si
Activación de Válvulas 4 y 2	Válvulas 4 y 2 activas	Si
Flujo de agua del tanque de captación a bandeja de la torre.	Flujo de agua presente	Si

Tabla 6 Funcionamiento prueba 2

Fuente Elaboración propia

El funcionamiento es el correcto.

### 5.5.3 Tanque de captación en su límite superior

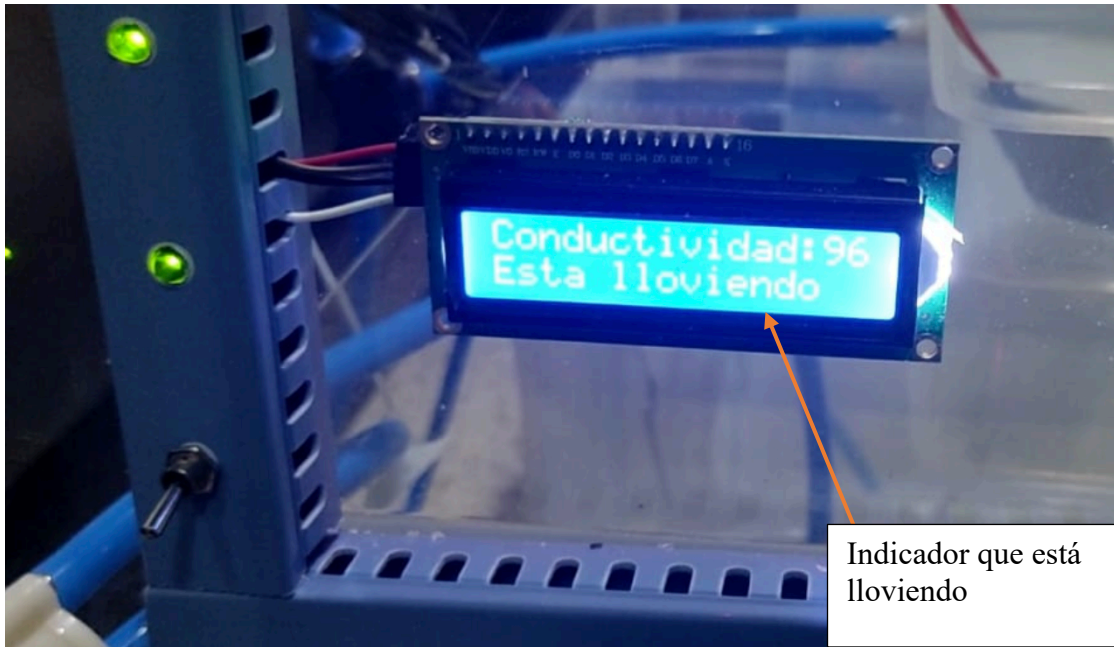
En esta prueba el tanque de captación se encuentra a 8 cm del límite superior y está lloviendo por lo que se activa la válvula de solenoide que envía el agua del techo al desagüe.



Nivel del tanque

Ilustración 69 Prueba 3 tanque de captación límite superior

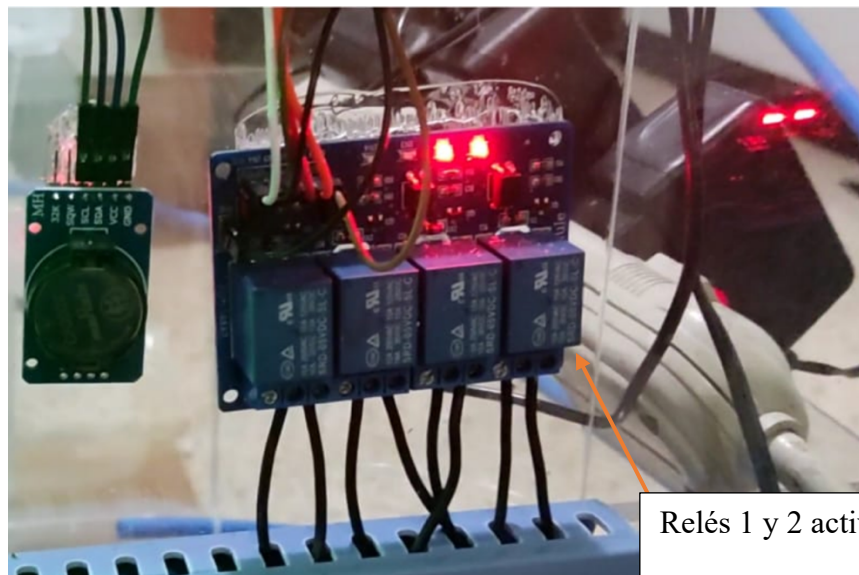
Fuente Elaboración propia



Indicador que está lloviendo

Ilustración 70 Prueba 3 Indicadores de conductividad y de lluvia

Fuente Elaboración propia



Relés 1 y 2 activos

Ilustración 71 Prueba 3 Módulo de 4 relés

Fuente Elaboración propia

Estado esperado	Estado durante la prueba	Cumple
Led de encendido activo	Led de encendido activo	Si
Nivel de tanque indicado	Nivel de tanque indicado: 8 cm	Si
Indicación de conductividad	Indica la conductividad	Si
Indicación de presencia de lluvia	Indica la presencia de lluvia	Si
Activación de la bomba 1	Bomba activa	Si
Activación de Válvulas 1 y 2	Válvulas 1 y 2 activas	Si
Flujo de agua del tanque de captación a bandeja de la torre.	Flujo de agua presente	Si

Tabla 7 Funcionamiento prueba 3

Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento es correcto.

#### 5.5.4 Descarga del historial de consumo.

En esta prueba se descargará el historial del consumo de agua suministrado del tanque de captación a la torre de enfriamiento. Para esta prueba se realizó una toma de medición con la fecha actual y una con una fecha del 2006.

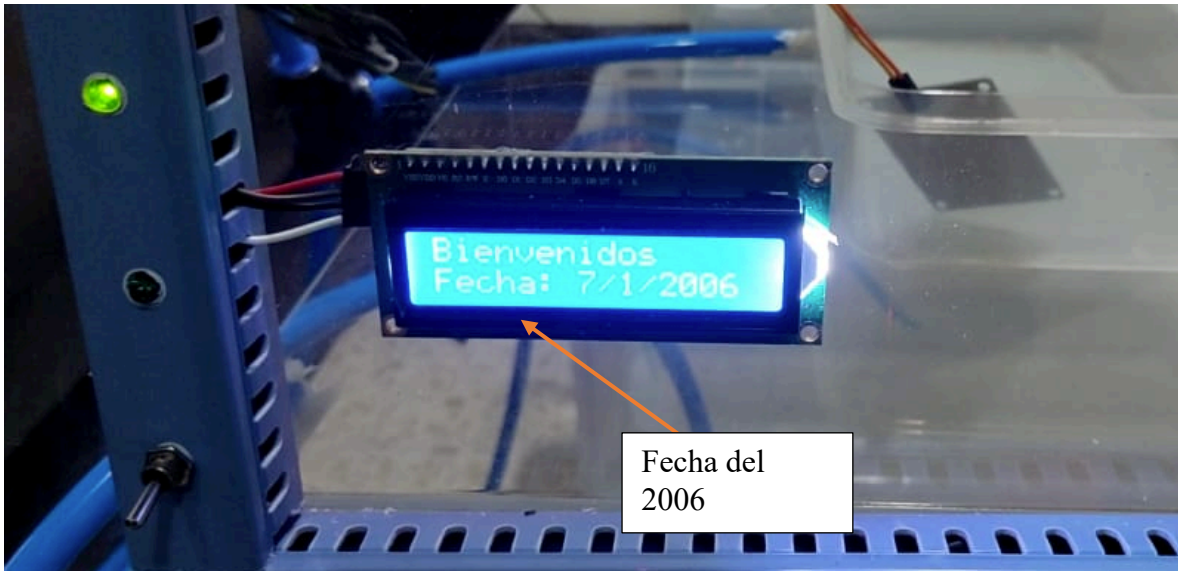


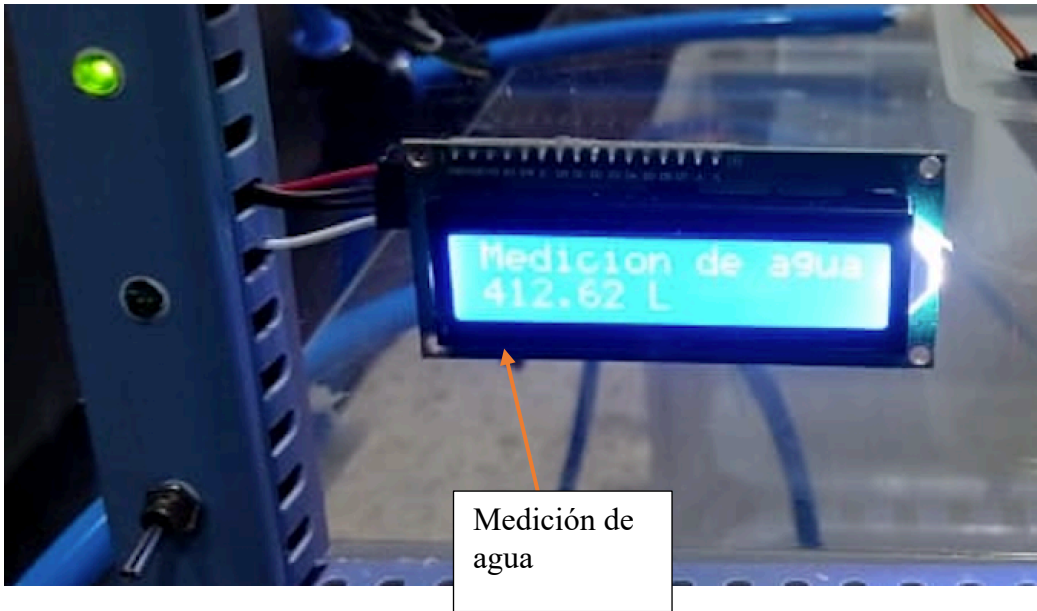
Ilustración 72 Prueba 4 memoria SD fecha 2006

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 73 Prueba 4 memoria SD fecha 2023

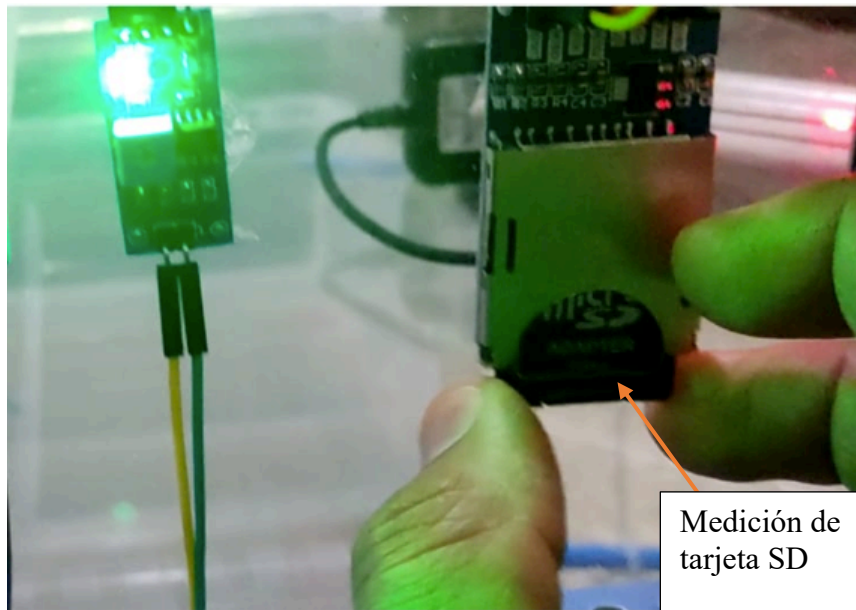
Fuente: Elaboración propia



Medición de  
agua

Ilustración 74 Medición de agua

Fuente: Elaboración propia



Medición de  
tarjeta SD

Ilustración 75 Extracción de SD

Fuente: Elaboración propia



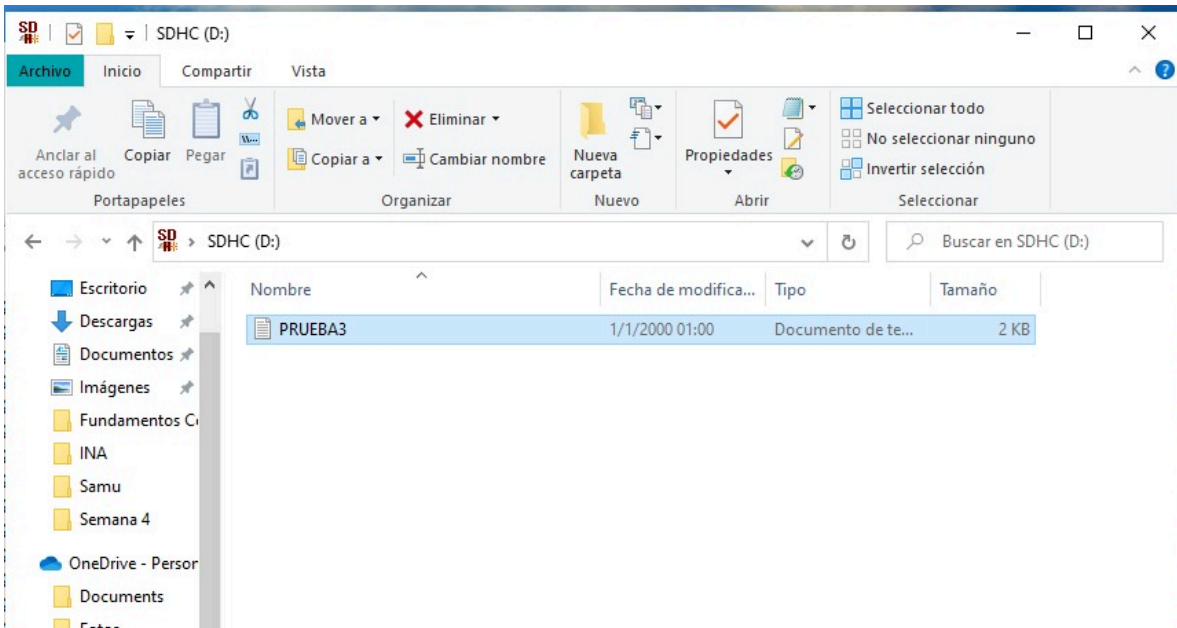


Ilustración 76 Archivo creado por el prototipo

Fuente: Elaboración propia

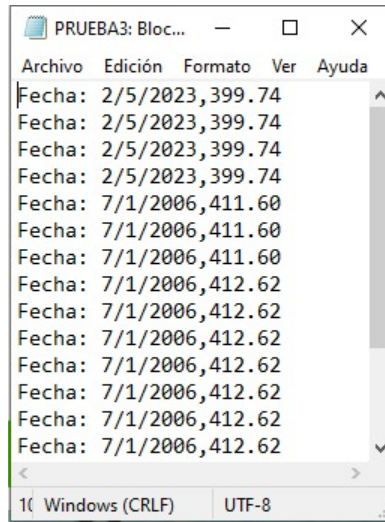


Ilustración 77 Datos de la memoria SD

Fuente: Elaboración propia.

El funcionamiento es el correcto.

## 5.6 Análisis de costo-beneficio

### 5.6.1 Materiales

En la tabla que se encuentra a continuación, se aprecian los costos de cada uno de los materiales que componen el sistema por desarrollar, así como el número de unidades que es requerido de cada uno y, al final de esta, la suma del total al que asciende el costo de los materiales en conjunto.

Se realizó el análisis de la implementación de todo el proyecto incluyendo el prototipo.

#### Costo de materiales

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Precio Total
Arduino MEGA 2560	¢ 34,651	1	¢ 34,651
Válvula Solenoide	¢ 325000	4	¢ 1300000
Sensor de conductividad	¢ 3000	1	¢ 3000
Sensor de gotas de lluvia	¢ 3500	1	¢ 3500
Módulo de 4 relés	¢ 4800	1	¢ 4800
Módulo de 2 relés	¢4200	1	¢4200
Bomba de agua	¢ 450000	1	¢ 450000
Tubería y accesorios	¢ 525000	1	¢ 525000
SD Card Modulo	¢2500	1	¢2500
Sensor RTC modulo	¢3600	1	¢3600
LCD 16x2	¢7800	1	¢7800
Tarjeta SD de 8 GB	¢5000	1	¢5000

Cable de control	¢35000	2	¢70000
Sensor de derrame torre de enfriamiento	¢ 3600	1	¢ 3600
Sensor de flujo de agua	¢ 120000	1	¢ 120000
Sensor ultrasónico	¢ 3600	1	¢ 3600
Resistor 330 Ohm	¢ 600	1	¢ 600
Resistor 1kOhm	¢ 660	1	¢ 660
Interruptor	¢ 1800	1	¢ 1800
Diodo LED	¢200	1	¢200
Materiales para la instalación	¢ 9000	1	¢ 9000
Adaptadores 12 V	¢3600	2	¢7200
Construcción del tanque de captación	¢ 6000000	1	¢ 6,000000
Tanques de plástico 5000 litros	¢ 1250000	2	¢ 1,250000
Total			¢9,810,711

Tabla 8 Costo de materiales

Fuente Elaboración propia

Adicionalmente es necesario contemplar los gastos de diseño y construcción del dispositivo, para realizar el cálculo de estos montos se toma como referencia el costo hora, honorarios y salario mínimo establecidos por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica en su última actualización.

## Costo de implementación

Actividad	Costo por hora	Horas	Total
Diseño del dispositivo	¢ 2,443	30	¢ 73209
Diseño del software	¢ 2,443	20	¢ 48,860
Construcción del proyecto	¢ 2,443	216(Tres personas x 8 días).	¢ 527,688
Pruebas	¢2,443	15	¢36,645
Total			¢686,402

Tabla 9 Costos de implementación

Fuente Elaboración propia

Con los datos de las tablas 10 y 11 se realizó el cálculo del costo total de implementar el proyecto, en la tabla 12 se muestra los datos completos de los costos.

## Costo total del proyecto

Ítem	Costo
Componentes	¢9,810,711
Desarrollo	¢686,402
Total	¢10,497,113

Tabla 10 Costo Total del proyecto

Según lo indicado en el apartado 2.1.5 facturación de agua donde indica que el promedio de facturación es de  $\phi 1,150,466$  con un consumo anual de  $\phi 13,805,592$ , en el punto 3.5 Diseño de la investigación Etapa 1 se indica que por mes se va a recolectar alrededor de  $600-700 m^3$  equivalente a  $\phi 1,237,800$  mensuales.

Los meses de lluvia en Costa Rica son de mayo a noviembre como se indica en el punto 2.1.4. y la vida útil de los componentes es de alrededor 7 años, ya que estos se van des actualizando y por condiciones ambientales deben ser sustituidos.

Teniendo estos puntos definidos se indica que en un período de alrededor de 8 meses se recuperaría la inversión realizada estos meses deben ser contados en los periodos de lluvia siendo la recuperación de la inversión entonces en un año y cinco meses.

Siendo esto positivo, ya que quedarían 5 años y 5 meses de ganancias económicas para el proyecto, adicionalmente y no menos importante es la huella hídrica que este proyecto generaría y tener un respaldo ante una disminución del agua en el futuro.

Los costos eventuales en una implementación pueden cambiar, por diferentes factores que se pueden presentar en el desarrollo del proyecto en sitio y con esto el retorno de inversión puede tomar más tiempo.

## Capítulo VI Conclusiones y recomendaciones

## 6.1 Conclusiones

- Se realizó el análisis de las características y necesidades de las torres de enfriamiento, el cual permitió el desarrollo del prototipo adaptable a los sistemas de enfriamiento actuales.
- Se identificó el método de llenado actual de agua potable, obteniendo como resultado el tipo de tecnología y componentes más adecuados, que se implementó en el prototipo, esto para un futuro desarrollo del proyecto.
- Se construyó un prototipo capaz de generar las pruebas necesarias para captar y almacenar el agua de lluvia y proporcionar este recurso a las torres de enfriamiento, el cual, además de controlar el llenado o vaciado del tanque, es capaz realiza mediciones cuantificables sobre el flujo de agua colocado en la salida del tanque, con las que se puede llevar un control de la medición, esto permitirá tener el dato de cuáles meses se recolectó más agua y cantidad de agua evaporada por la torre de enfriamiento.
- Se implementó un sensor de conductividad y de aviso para el caso de presencia de lluvia, además, con el monitoreo necesario para mostrar estos datos en el LCD, de forma que la empresa pueda tener una visualización de estos parámetros.

- Se implementó un manual de usuario que permite aprender cómo manipular adecuadamente el equipo, ya que en este se detallan los pasos y procedimientos a seguir para lograr que el sistema realice las distintas funciones para las que se construyó, esto permitirá que la empresa pueda utilizar este prototipo como muestra para otros futuros proyectos.
- Mediante el análisis de costo-beneficio realizado sobre el sistema, se evidencia mediante la verificación de ciertos parámetros financieros como costo del proyecto, tiempo de recuperación de la inversión, consumo actual de agua que la inversión representa un ahorro en la facturación de agua, lo cual constituye una ganancia.



## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda colocar un sistema de filtrado de partículas, ya que el techo puede tener polvo o algún tipo de material que puede bajar por las tuberías a los tanques y causar que las bombas se traben o haya obstrucciones en las tuberías.
- Para una implementación en un proyecto en producción, se recomienda utilizar tanques de tipo plástico para intemperie de pared gruesa, ya que, si se utiliza de otro tipo o de cemento, el agua de lluvia al tener pocos minerales puede producir un daño en las paredes a largo plazo.
- Generar una rutina de mantenimiento para todos los componentes, como un análisis de vida útil para un mejor aprovechamiento del recurso.
- Se puede valorar la utilización de una pantalla de mejor tamaño, que permita incorporar más datos de visualización al mismo tiempo y una mejor resolución.
- Periódicamente realizar un análisis de la calidad del agua para determinar si se debe añadir algún tipo de biocida o químico para eliminar bacterias.

## Bibliografía

- Historia de electrotécnica consultado el 2-1-2023 12:56 pm, disponible en: <https://electrotecnica.com/es/resena-historica>.
- Sistema de agua Helada consultado el 3-1-2023 11:39 pm, disponible en: <https://iaase.com.mx/servicios/sistemas-de-agua-helada-para-accionamiento-de-aire-en-mexico/>.
- Sistema de agua Helada consultado el 3-1-2023 11:50 pm, disponible en: <https://0grados.com/sustentabilidad-sistemas-abiertos-agua-helada/>
- Torres de enfriamiento definición y tipos consultado el 3-1-2023 12:07 pm, disponible en: <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/que-es-torre-de-refrigeracion-enfriamiento-funcionamiento-seguridad.html>
- Climatización en los últimos años consultado 3-1-2023 12:21 pm, disponible en: [https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP\\_Documento-2022-2026\\_VC.pdf](https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP_Documento-2022-2026_VC.pdf)
- LCD consultado 3-1-2023 13:02 pm, disponible en: <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/pantallas-lcd-liberia-actualizada>
- Válvula de solenoide consultado 3-1-2023 13:48 pm, disponible en: <https://www.climasmonterrey.com/que-es-una-valvula-de-solenoide>
- Micro bomba de agua consultado 3-1-2023 13:54, disponible en: <https://www.steren.com.sv/micro-bomba-de-agua-con-flujo-de-80-120-l-h.html>

- Sensor de gotas de lluvia consultado 3-1-2023 14:14 pm, disponible en:  
<https://www.crcibernetica.com/raindrop-and-dew-sensor/>
- DS3231 30-1-23 7:38 am, disponible en:  
<https://www.microjpm.com/products/ds3231-at24c32-iic-modulo-de-reloj-en-tiempo-real/>
- Módulo Relé 30-1-23- 7:53 am, disponible en:  
[http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas\\_final/OA4/mdulo\\_rel.html](http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/OA4/mdulo_rel.html)
- I2C 31-1-23 7:49 am, disponible en: <https://medium.com/learning-by-doing-404/i2c-communication-between-rpi-and-arduino-b7064bffe02a>
- Barrantes, R. (2014). Investigación: un camino al conocimiento: enfoque cuantitativo y cualitativo. 2 reimp. San José: EUNED.
- Chaparro Salinas, E. (s.f.). Diagnóstico de situación actual. Obtenido de <http://seduca.uaemex.mx/material/LIA/AEPyMES/Cnt21.php>
- Chaparro Salinas, E. (s.f.). Diagnóstico de situación actual. Obtenido de <http://seduca.uaemex.mx/material/LIA/AEPyMES/Cnt21.php>
- fundibeq. (s.f.). Diagrama de Ishikawa. Obtenido de [http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/galleria/methodology/tools/diagrama\\_causa\\_efecto.pdf](http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/galleria/methodology/tools/diagrama_causa_efecto.pdf)
- González, L. M. (2018). Manual: APA. Citas y Referencias Bibliográficas. Costa Rica: Universidad Hispanoamericana.

- Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2011). Formulación de Proyectos. Cartago: TEC.
- Jauregui G, A. (2008). Diseño de Programas y Proyectos en Línea. Obtenido de [www.gestiopolis.com](http://www.gestiopolis.com)
- López García, J. C. (2014). La taxonomía de Bloom y sus actualizaciones. Obtenido de <http://www.eduteka.org/TaxonomiaBloomCuadro.php3>
- ORI. (s.f.). n Variables. Obtenido de <http://ori.hhs.gov/education/products/sdsu/espanol/variables.htm>
- Pereyra, L. (2007). Integración de Metodologías Cuantitativas y Cualitativas: Técnicas de Triangulación. Obtenido de [http://ief.eco.unc.edu.ar/files/workshops/2007/09oct07\\_lilipereyra\\_work.pdf](http://ief.eco.unc.edu.ar/files/workshops/2007/09oct07_lilipereyra_work.pdf)
- Proyectos y Tesis. (s.f.). ¡Cómo se elabora un marco teórico? Obtenido de [http://www.proyectosytesis.com.ar/index.php?martic\\_id=0000000003&mme\\_nelec=1](http://www.proyectosytesis.com.ar/index.php?martic_id=0000000003&mme_nelec=1)
- Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. (s.f.). Los enfoques de la investigación científica. Obtenido de [http://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI\\_Presentaciones/licenciatura\\_en\\_mercadotecnia/fundamentos\\_de\\_metodologia\\_investigacion/PRES39.pdf](http://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Presentaciones/licenciatura_en_mercadotecnia/fundamentos_de_metodologia_investigacion/PRES39.pdf)
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill.

- Capacho Portilla, José Rafael, and Wilson Nieto Bernal. Diseño de Base de Datos. Universidad del Norte, 2017.

## Anexos

## Anexo 1 Entrevista

Nombre: José Mario Ramírez

Puesto: Administrador de Centros de Datos.

Tema: Torres de enfriamiento.

1) ¿Que conoce de sistemas de enfriamiento?

R/ Si tengo experiencia trabajando con sistemas de enfriamiento de agua helada y expansión, a lo largo de los años de trabajar con electrotécnica me toco trabajar en diferentes centros de datos donde interactúe con los equipos adicional tengo cursos de aires acondicionados de precisión.

2) ¿De los tipos de torres de enfriamiento cuales usted tiene alguna interacción?

R/Actualmente tengo interacción con torres de tiro inducido que son torres que trabajan 24/7.

3) ¿Conoce el consumo de agua de una torre de enfriamiento?

R/Si claro llevo el historial financiero del Centro de Datos parte de mi labor es conocer el consumo de agua por mes que es alrededor de 200 a 300m<sup>3</sup>

4) ¿Qué tipo de agua es la suministrada a las torres?

R/ Es agua suministrada por el AYA es de tipo potable.

5) ¿Se podrían alimentar con aguas no potables?

R/Si claro, la mayoría de las torres de enfriamiento están instaladas fuera de Costa Rica son alimentadas con aguas grises o agua no potable.

6) ¿Conoce algún lugar donde se utilicen las torres de enfriamiento con aguas no potables o de lluvia?

R/ Si el Centro de Convenciones utiliza agua de lluvia para las torres de enfriamiento, pero es el único lugar que conozco.

7) ¿Tendría alguna afectación los equipos por utilizar agua de lluvia?

R/ No, siempre cuando se tenga un control de la conductividad del agua.

8) ¿En qué sería favorable utilizar este tipo de agua?

R/Nos permitiría tener una disponibilidad en caso de que no se cuente con el suministro de agua por parte del AYA. Tendríamos un ahorro en la facturación y esto nos ayudaría a la operación.

9) ¿Si se implementa un proyecto que cuidados se deben tener?

R/Como lo indique deberíamos tener un cuidado en la conductividad del agua.

Y un monitoreo del llenado del tanque, así como todos los cuidados para que el sistema sea automático.



## Anexo 2 Revisión diaria

Extracto de las rondas diarias de las torres de enfriamiento, donde se evidencia la medición consumo de agua.

CUARTO DE MAQUINAS Y AZOTEA								
Chiller A(HFC-W)				Bombas Brazo A				
Temperatura Suministro	11.6 °C	Temperatura Retorno	13.9 °C	Presión bomba secundaria suministro(BSV)(In/out)	20 psi	48 psi	Temperatura bomba secundaria suministro(BSV)	48.8 °C
Presión Alta	9.3 BAR	Presión Baja	2.7 BAR	Presión bomba primaria suministro (BPF)(In/out)	18 psi	44 psi	Temperatura bomba primaria suministro (BPF)	34.4 °C
Numero de horas de trabajo	64 hrs	Porcentaje de operación del compresor	100 %	Presión bomba torre enfriamiento (BTE)(In/out)	0 psi	26 psi	Temperatura bomba torre enfriamiento (BTE)	36 °C
Suministro de agua, tanque de expansión y estado de tableros				Bomba Sistema Lakos (In/out)	24 psi	20 psi	Variador de frecuencia bomba (Estado/Hz)	Ok
Presión en el suministro de agua A	20 psi	Presión en el suministro de agua B	20 psi	Torre de enfriamiento A				
Presión del tanque de expansión A	20 psi	Presión del tanque de expansión B	20 psi	Variador de frecuencia Torre (Estado /Hz)	Ok	30 Hz	Tratamiento de agua (conductividad)	Ok
TA-BOMB-A	Ok	TA-BOMB-B	Ok	Temperatura del agua (SAT / RAT)	27 °C	30 °C	Medidor (consumo m <sup>3</sup> v presión)	13195307 m <sup>3</sup> 34 psi
Chiller A		Chiller B		Inspección de fugas en bombas				
Revisión de fugas	Ok	Revisión de fugas	Ok	Inspección de fugas en tuberías				
Revisión de juntas	Ok	Revisión de juntas	Ok	Inspección de vibraciones en aislantes				
Inspección de fugas en tuberías	Ok	Inspección de fugas en tuberías	Ok	Porcentaje de operación				
Inspección de vibraciones en aislantes	Ok	Inspección de vibraciones en aislantes	Ok	41.6 %				
Porcentaje de operación	41.6 %			Porcentaje de operación				
Observaciones:				General				
				Iluminación en azotea	Ok	Iluminación en cuarto de máquinas	Ok	
				Estado del TPO	Ok	Desechos en el sitio	Ok	
				Orden en el sitio	Ok	Equipos y materiales en su lugar	Ok	

## Anexo 3 Programación completa

### Programación completa.

```
#include <EEPROM.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <RTCLib.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
File myFile;
int BOTONEN = 30;
int LEDEN = 3;
int TRIG = 10;
int ECO = 9;
int DURACION;
int DISTANCIA;
int Q2 = 4;
int S1 = 5;
int M1 = 6;
int M2 = 7;
int Q1 = 8;
int Q3 = 11;
int Q4 = 12;
int lluvia = 13;
int lectura;
int lecturaPorcentaje;
int lluviasensor;
int pinCS = 53;
volatile double waterFlow;
RTC_DS3231 rtc;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode (BOTONEN, INPUT);
  pinMode (LEDEN, OUTPUT);
  pinMode(TRIG, OUTPUT);
  pinMode (ECO, INPUT);
  pinMode (Q2, OUTPUT);
  pinMode (S1,INPUT);
  pinMode (M1, OUTPUT);
  pinMode (M2, OUTPUT);
  pinMode (Q1, OUTPUT);
  pinMode (Q3, OUTPUT);
  pinMode (Q4, OUTPUT);
  pinMode (lluvia, OUTPUT);
  digitalWrite(TRIG, LOW);
  waterFlow = EEPROM.get(0,waterFlow);
  attachInterrupt ( 0, pulse, RISING);
  digitalWrite(Q1, HIGH);
  digitalWrite(Q2, HIGH);
  digitalWrite(Q3, HIGH);
  digitalWrite(Q4, LOW);
  digitalWrite(M1, HIGH);
  digitalWrite(M2, HIGH);
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.begin (16,2); // Definir el LCD
```

```

rtc.begin();
rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); // Adjunta el hora y dia
pinMode (pinCS, OUTPUT);
if (SD.begin())
{
Serial.println("SD card esta lista.");
}
else{
Serial.println("SDcard no lista.");
return;
}
}
// Sensor de flujo
void pulse()
{
waterFlow += 1.0 / 450.0;
}
void loop() {
// encendido
if (digitalRead(BOTONEN) == HIGH){
myFile = SD.open("Prueba3.txt",FILE_WRITE);
DateTime fecha = rtc.now();
myFile.print("Fecha: ");
myFile.print(fecha.day());
myFile.print("/");
myFile.print(fecha.month());
myFile.print("/");
myFile.print(fecha.year());
myFile.print(",");
myFile.println(waterFlow);
myFile.close();
digitalWrite(LEDEN, HIGH);
EEPROM.put(0, waterFlow);
Serial.println("valor guardado en:");
Serial.println(EEPROM.get(0,waterFlow));
Serial.println(" ");
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Bienvenidos");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Fecha: ");
lcd.print(fecha.day());
lcd.print("/");
lcd.print(fecha.month());
lcd.print("/");
lcd.print (fecha.year());
delay(4000);
lcd.clear();
// sensor de conductividad
lectura = analogRead(A0);
lecturaPorcentaje = map(lectura, 1023, 0, 0, 100);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Conductividad: ");
lcd.print(lecturaPorcentaje);
lcd.print("%");
// sensor de lluvia
lluviasensor = analogRead(A1); // SENSOR DE LLUVIA
if (lluviasensor <= 1023 && lluviasensor >= 800){
digitalWrite(lluvia, LOW);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("No llueve");
delay(4000);
lcd.clear();
}
}
}

```

```

}
else {
  digitalWrite(lluvia, HIGH);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Esta lloviendo");
  delay(4000);
  lcd.clear();
}
//Sensor ultrasonico para el nivel v
digitalWrite(TRIG, HIGH);
delay(1);
digitalWrite(TRIG, LOW);
DURACION = pulseIn(ECO, HIGH);
DISTANCIA = DURACION / 58.2;
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Nivel de tanque: ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(DISTANCIA);
lcd.print(" cm");
delay(4000);
lcd.clear();
delay(1000);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Medicion de agua: ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(waterFlow);
lcd.print(" L");
delay(4000);
lcd.clear();
if (DISTANCIA <= 30 && DISTANCIA >= 20){
digitalWrite(M2, HIGH);
digitalWrite(Q2, LOW);
digitalWrite(Q1, HIGH);
digitalWrite(Q4, LOW);
if (digitalRead(S1) == LOW){
digitalWrite(M1, LOW);
}
}
else {
digitalWrite(M1, HIGH);
}
}
else {
if (DISTANCIA <=20 && DISTANCIA >=10){
  digitalWrite(M1, HIGH);
  digitalWrite(Q1, LOW);
  digitalWrite(Q2, HIGH);
  digitalWrite(Q4, LOW);
  if (digitalRead(S1) == LOW){
    digitalWrite(M2, LOW);
  }
}
else {
digitalWrite(M2, HIGH);
}
}
else {
if (DISTANCIA <= 10 && DISTANCIA >= 5){
  digitalWrite(M1, HIGH);
  digitalWrite(Q2, HIGH);
  digitalWrite(Q1, LOW);
  digitalWrite(Q3, LOW);
  digitalWrite(Q4, HIGH);
  if (digitalRead (S1) == LOW){

```

```
digitalWrite(M2, LOW);
}
else {
digitalWrite(M2, HIGH);
}
}
}
}
Serial.print("La medición es: ");
Serial.println(DISTANCIA);
delay(500);
} else
digitalWrite(LEDEN, LOW);
}
```

Anexo 4 Manual de usuario

Manual de operación del prototipo para la reutilización de agua de lluvia para funcionamiento de torres de enfriamiento.

Elaborado por:  
Gerardo Brenes Navarro

Febrero 2023

## Tabla de contenido

Marco teórico.....	160
Operación del prototipo.....	161
Mantenimiento del prototipo.....	167
Funcionamiento de la SD.....	168

Marco Teórico.

A continuación, se realiza una definición de ciertos términos que son fundamentales para la correcta interpretación y análisis del presente informe.

### **Sensor flujo de agua**

Dispositivo que permite medir la cantidad de litros de agua que pasan por una determinada tubería.

### **Memoria SD**

Dispositivo que permite guardar información como archivos de texto para su interpretación.

### **Display LCD**

Dispositivo de caracteres que permite visualizar información suministrada por algún otro dispositivo.

### **Módulo de reloj**

Modulo que permite llevar el tiempo por medio de una batería incorporada.



### **Módulo de relés.**

Relés controlados por un dispositivo por medio de señales de 5 VDC independientes a sus salidas estas pueden ser N.C. o N.O.

### **Válvulas de solenoide**

Dispositivo que permite el paso de agua por medio de una bobina que empuja un pistón, estos son alimentados a 12 VDC y son N.O.

### **Sensor ultrasónico**

Dispositivo que por medio de ondas que rebotan permite determinar la distancia de un objeto.

### **Sensor de conductividad**

Dispositivo que por medio de sus terminales determina la conductividad de del agua ya que induce una corriente y un voltaje con esto se obtiene una resistencia aplicando el inverso se obtiene la conductancia.

### **Sensor de lluvia**

Dispositivo con una placa que cuando le cae agua realiza un cortocircuito en sus terminales indicando la presencia de agua.

### Operación de prototipo

Para la operación del prototipo se debe seguir los siguientes pasos:

- 1) Verificar que se encuentre encendida la alimentación de las fuentes.
- 2) Encender el botón de encendido y verificar el encendido de LED de encendido.

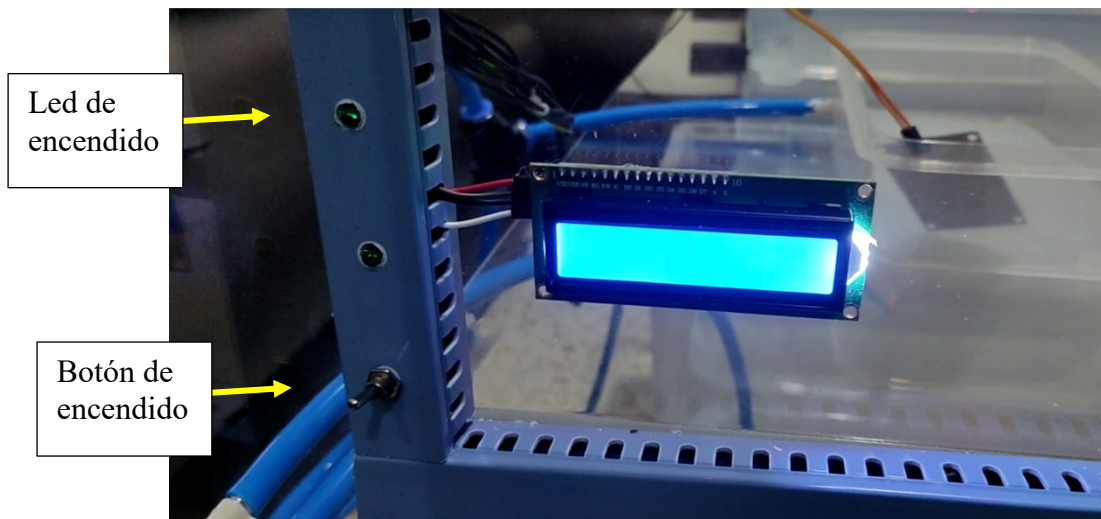


Ilustración 1 Verificación de encendido

Fuente: Elaboración propia

- 3) Verificar la fecha sea la correcta.
- 4) Verificar el nivel del tanque si esta es superior a los 20 cm (ver ilustración 2), el prototipo activara el llenado de la torre de enfriamiento desde el tanque de agua potable. Si el nivel de tanque es menor a 20 cm pase al punto 7.

- 5) Se activará el relé 2 perteneciente a la bomba 2 y los relés 4 y 3 pertenecientes a Q2 y Q4 no permitiendo el paso de agua (ver ilustración 3 y 4).
- 6) Cuando el tanque de la torre este lleno S1 se activará y apagará el relé 2 perteneciente a la bomba 2 (ver ilustración 5).



Ilustración 2 Nivel de tanque.

Fuente Elaboración propia

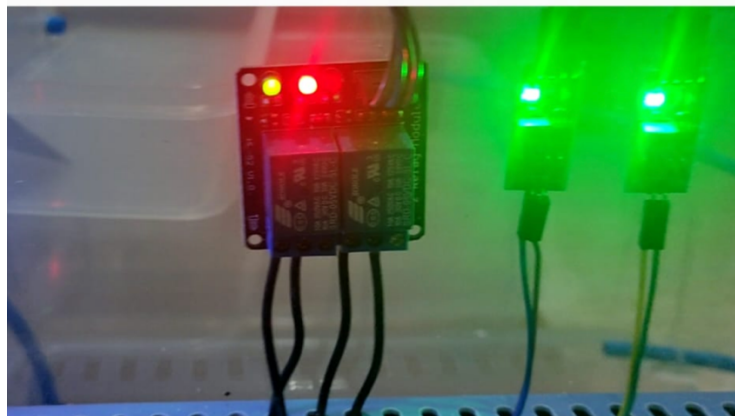


Ilustración 3 Módulo de relé de bombas

Fuente: Elaboración propia

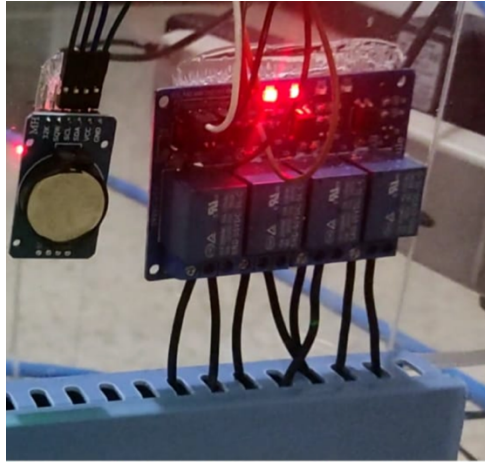


Ilustración 4 Modulo de relés

Fuente Elaboración propia.

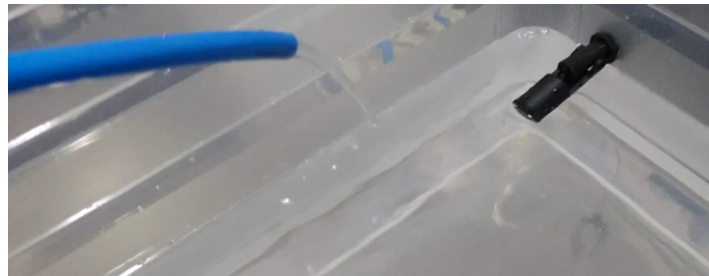


Ilustración 5 SI

Fuente Elaboración propia

- 7) Si el nivel del tanque es superior a 20 cm e inferior a 10 cm el prototipo activara el llenado de la torre por medio de relé 1 perteneciente a bomba 1, apagando relé 2 y activa los relés 4 y 1 pertenecientes a Q4 y Q1. (Ver ilustraciones 7 y 8). Esto indica que la torre de enfriamiento está siendo alimentada del tanque de captación. Si el nivel de tanque es menor a 10 cm pase al punto 11.
- 8) Si se encuentra lloviendo el led indicador de lluvia estará activo y en el LCD se mostrará el mensaje “Está lloviendo”. (ver ilustración 6).

- 9) El sensor de conductividad estar dentro de los rangos indicados según tabla adjunta. (Ver ilustración 6)
- 10) Cuando el tanque de la torre este lleno S1 se activará y apagará el relé 1 perteneciente a la bomba 1 (ver ilustración 5).

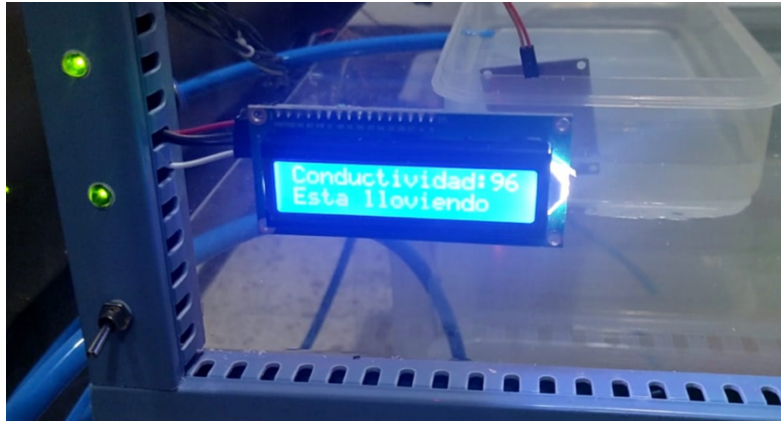


Ilustración 6 Indicador de lluvia y conductividad

Fuente Elaboración propia.

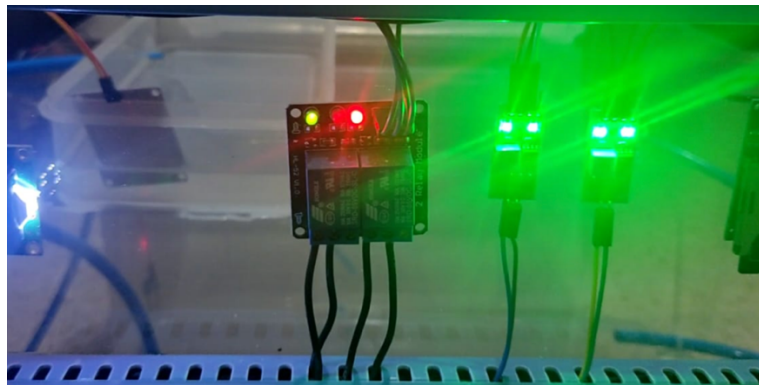


Ilustración 7 Módulo de relés

Fuente Elaboración propia

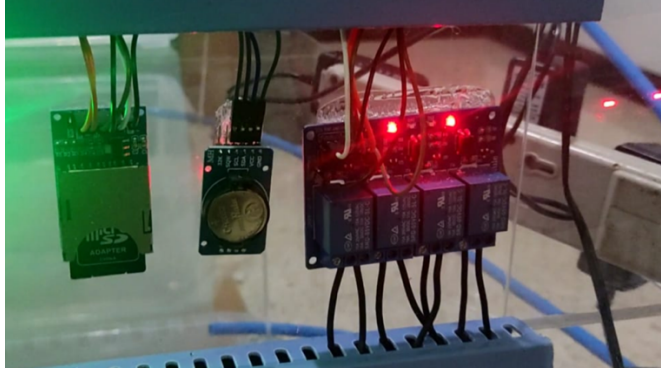


Ilustración 8 Módulo de 4 relés

Fuente Elaboración propia

- 11) Si el nivel del tanque es superior a 5 cm e inferior a 10 cm el prototipo activara el llenado de la torre por medio de relé 1 perteneciente a bomba 1, y activa los relés 2 y 1 pertenecientes a Q3 y Q1. (Ver ilustración 7 y 9 ). Esto indica que la torre de enfriamiento está siendo alimentada del tanque de captación, pero el tanque de captación se encuentra lleno, por lo que el agua por medio de Q4 que se encuentra apagado se va al desagüe.
- 12) Si se encuentra lloviendo el led indicador de lluvia estará activo y en el LCD se mostrará el mensaje “Está lloviendo”. (ver ilustración 6).
- 13) El sensor de conductividad estar dentro de los rangos indicados según tabla adjunta. (Ver ilustración 6)
- 14) Cuando el tanque de la torre este lleno S1 se activará y apagará el relé 1 perteneciente a la bomba 1 (ver ilustración 5).

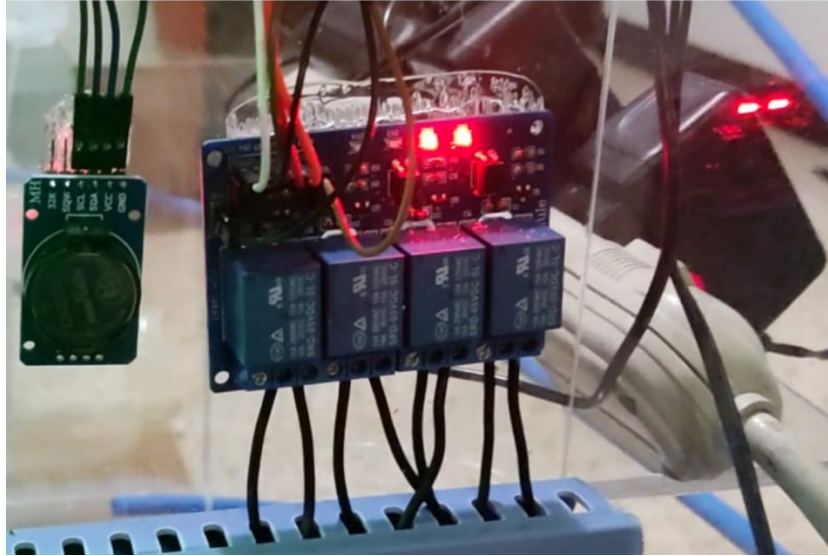


Ilustración 9 Módulo de 4 relés.

Fuente Elaboración propia

### **Mantenimiento del prototipo**

Para el mantenimiento del prototipo se debe realizar las siguientes recomendaciones:

- 1) Mantener el agua de los tanques limpia.
- 2) No conectar los bombas o válvulas a otros voltajes.
- 3) Ajustar la tensión en los bornes al menos 1 vez al año.
- 4) Mantener limpio los componentes electrónicos.
- 5) Verificar que las mangueras no presenten fuga o golpes.

## Funcionamiento de la SD

Para descargar el historial del consumo de agua suministrado del tanque de captación a la torre de enfriamiento.

- 1) Verificar la fecha en el LCD. (ver ilustración 10)
- 2) El ultimo consumo mostrado en el LCD. (ver ilustración 11)
- 3) Extrae la memoria SD. (ver ilustración 12)
- 4) Conectarla por medio del puerto a la computadora.
- 5) Abrir el archivo bloc de notas y extraer la información por fecha y consumo.  
(ver ilustración 13 y 14)



Ilustración 10 Fecha del prototipo

Fuente Elaboración propia



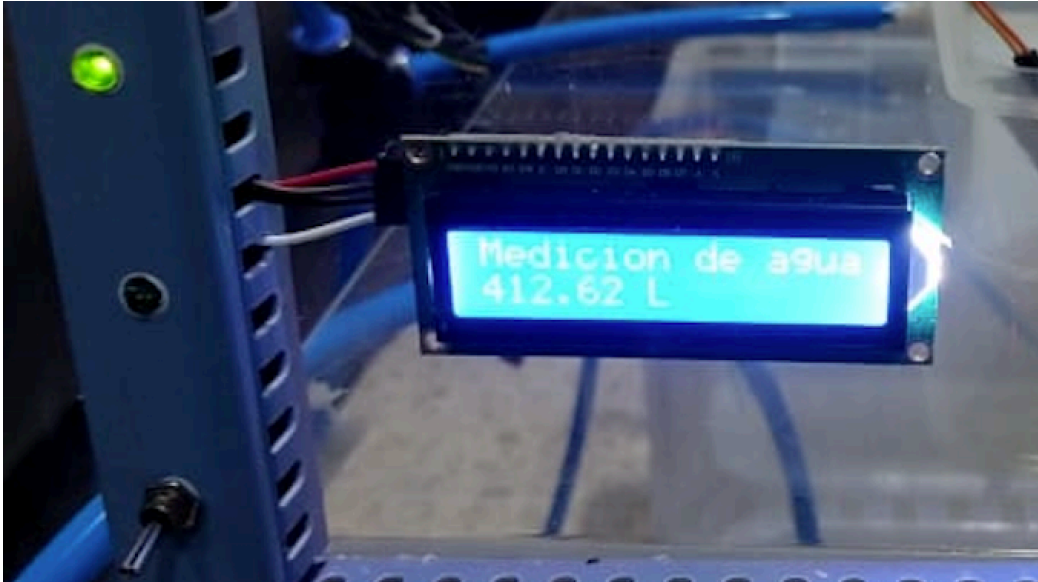


Ilustración 11 Verificación de consumo

Fuente: Elaboración propia

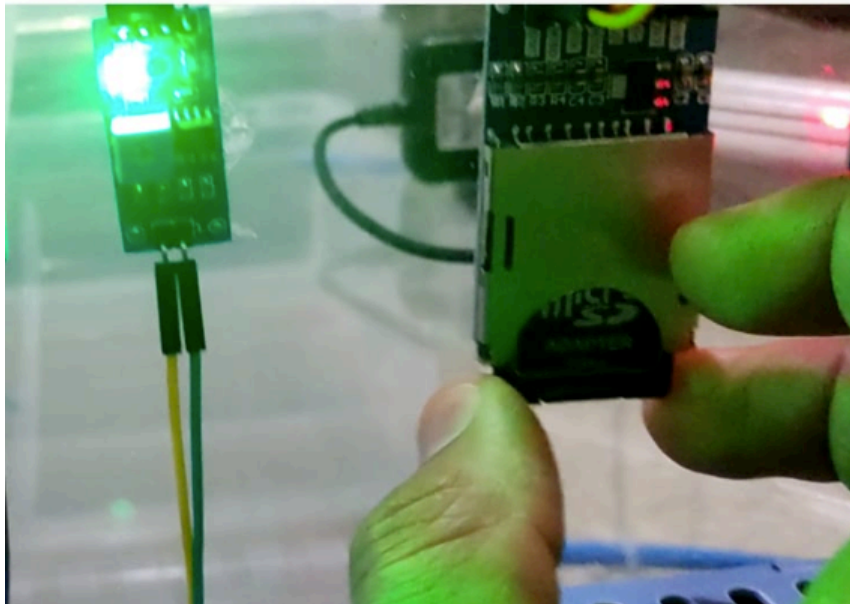


Ilustración 12 Extracción de SD

Fuente: Elaboración propia

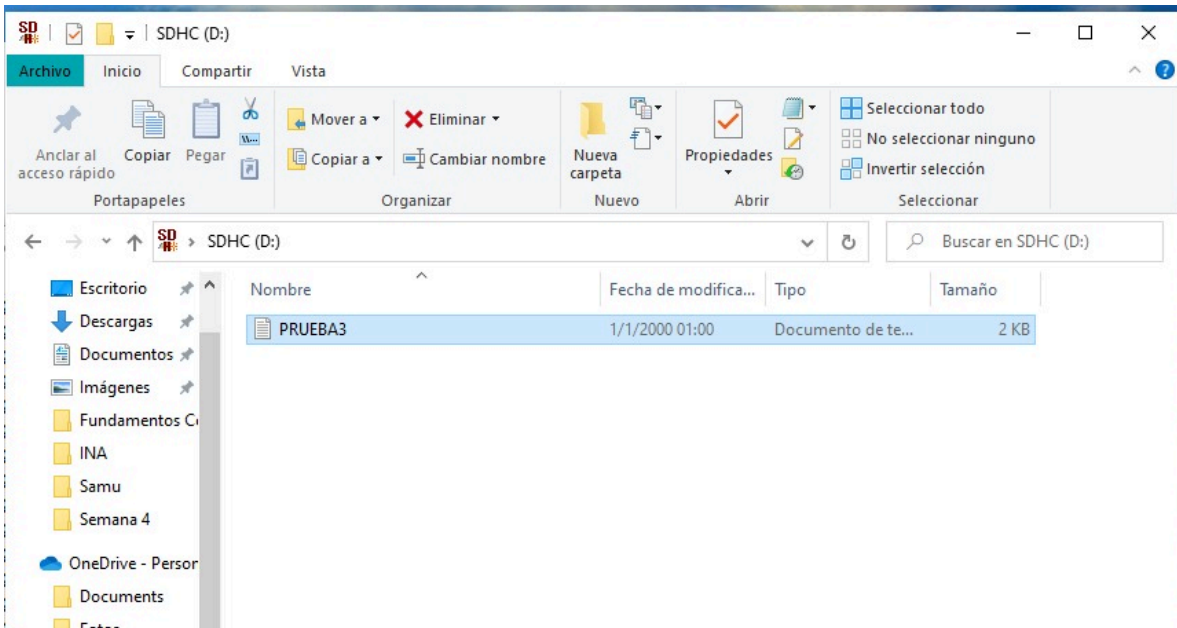


Ilustración 13 Archivo creado por el prototipo

Fuente: Elaboración propia

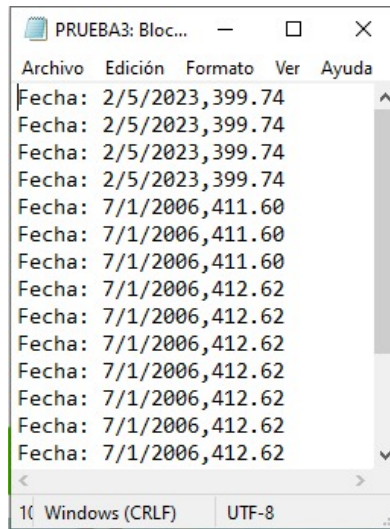


Ilustración 14 Datos de la memoria SD

Fuente: Elaboración propia.