

Área de Conocimiento de Tecnología de la Información y  
Comunicación

# **Diseño de prototipo automatizado para la distribución de agua potable con un módulo de control a base de ESP32 en la comunidad Los Rugamas- Villa El Carmen.**

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA

Elaborado por:

Br. Lawrence  
Alexander Alemán  
Fuentes  
Carnet: 2014-0054S

Br. Zandy Rebeca  
Quiroz Corrales  
Carnet: 2014-0061S

Tutor:

Ing. Jaime Álvarez





Área de Conocimiento de  
Tecnología de la Información  
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

**F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

**QUIROZ CORRALES ZENDY REBECA**

Carné: **2014-0061S** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2019 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cuatro días del mes de septiembre del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

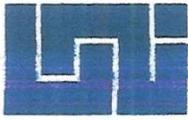


Ing. Cedrick Elksnherr Dalla Torre Corrales  
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

 Móvil: (505) 8588 8333

 Recinto Universitario Simón Bolívar  
Avenida Universitaria,  
Managua, Nicaragua.  
Apdo: 5595

 [www.uni.edu.ni](http://www.uni.edu.ni)



Área de Conocimiento de  
Tecnología de la Información  
y Comunicación

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

**F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**

El Suscrito Secretario del **ÁREA DEL CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN** hace constar que:

**ALEMAN FUENTES LAWRENCE ALEXANDER**

Carné: **2014-0054S** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERÍA ELECTRÓNICA**, en el año 2019 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cuatro días del mes de septiembre del año dos mil veinte y cuatro.

Atentamente,

Ing. Cedrick Elksnherr Dalla Torre Carrales  
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA



 Móvil: (505) 8588 8333

 Recinto Universitario Simón Bolívar  
Avenida Universitaria,  
Managua, Nicaragua.  
Apdo: 5595

 [www.uni.edu.ni](http://www.uni.edu.ni)

Managua 2 de Octubre del 2024

Msc. Claudia Benavidez Rugama  
Directora Area de Conocimiento de  
Tecnología de la informacion y Comunicación.

Sirva la presente para solicitar se programe el acto de defensa monografica para los bachilleres quienes han predefendido su trabajo y han incorporado las mejoras sugeridas.

Lawrence Alexander Alemán Fuentes      carnet: 2014-0054S  
Zendy Rebeca Quiroz Corrales      carnet 2014-0061S

Egresados de la carrera Ingeniería Electrónica quienes presentan el tema :

“Diseño de prototipo automatizado para la distribución de agua potable con un módulo de control a base de ESP32 en la comunidad Los Rugamas-Villa El Carmen”.

Para optar al título de Ingeniero Electrónico.  
Los bachilleres han incorporado las observaciones y correcciones al documento monográfico.  
Adjunto tres copias impresas del documento monográfico.

Agradezco su atención a la presente, deseándole exitos en sus funciones.  
Atentamente,



Jaime Alvarez Calero  
Programa académico de ingeniería Electrónica.



## Decanatura | FEC

Universidad Nacional de Ingeniería  
Recinto Universitario "Simón Bolívar"  
Facultad de Electrotecnia y Computación

**Decanatura**  
DF-03-2023-75

Managua, 24 de marzo del 2023.

### Bachilleres.

Lawrence Alexander alemán fuentes 2014-0054S.

Zendy Rebeca Quiroz Corrales 2014-0061S.

### Egresados de la Carrera de Ingeniería Electrónica.

Estimados Bachilleres:

El suscrito Decano de la Facultad de Electrotecnia y Computación, a través de la presente autoriza de manera formal la inscripción de la Monografía Titulada "**DISEÑO DE PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE CON UN MÓDULO DE CONTROL A BASE DE ESP32 EN LA COMUNIDAD LOS RUGAMAS-VILLA EL CARMEN**". Para optar al Título de Ingeniero Electrónico, para tal efecto se nombra como Tutor de la Monografía al **Ing. Jaime Álvarez**.

Así mismo le solicito proceda a la **Inscripción de dicho Tema Monográfico** en secretaria Académica de la facultad, con la finalidad de darle control y seguimiento, de acuerdo a los reglamentos establecidos.

Se les recuerda que, según la normativa para los trabajos monográficos, a partir de la fecha de inscripción tiene 12 meses para defender dicho trabajo.

Sin más a que referirme y deseándoles mucho éxito en la culminación de esta etapa, me despido.

Atentamente

**Msc. Augusto César Palacios Rodríguez**  
**Decano UNI-FEC**

C/c: Ing. María Lourdes Montes.  
Ing. Juan Martínez Toribio.  
Ing. Jaime Álvarez.  
Archivo.

Secretaria Académica.  
Jefe de Dpto. de Electrónica.  
Tutor.

📞 Teléfono: (505) 2270 5126

📍 Recinto Universitario Simón Bolívar  
Avenida Universitaria.  
Managua, Nicaragua.  
Apdo: 5595

✉️ [augusto.palacios@fec.uni.edu.ni](mailto:augusto.palacios@fec.uni.edu.ni)  
[www.fec.uni.edu.ni](http://www.fec.uni.edu.ni)

## **Dedicatoria**

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por ser la fuente de fortaleza, sabiduría y guía en cada paso de mi vida. Sin Su gracia y bendición, este camino no habría sido posible.

Principalmente, dedico esta tesis a mi madre e hijos, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional. Su amor, sacrificio y fe en mí han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar mis metas. A ustedes, que han creído en mí incluso cuando yo mismo dudaba, les debo todo lo que soy y lo que he logrado.

También quiero dedicar este trabajo a todos los docentes que me han acompañado a lo largo de mi carrera. Sus enseñanzas no solo me han formado como ingeniero, sino también como persona. A cada uno de ustedes, que compartieron su conocimiento y dedicaron tiempo y esfuerzo para guiarme, les estaré eternamente agradecida.

Zendy Rebeca Quiroz Corrales.

## **Dedicatoria**

A Dios, a Él sea el honor, el poder y la gloria por siempre. (1 Tim. 6, 16).

A la Lic. María del Socorro Fuentes, madre y maestra, por creer siempre en mí y ser un ejemplo constante de superación, lucha y entrega. Hoy he logrado alcanzar mi meta en gran parte gracias a ti, ya que has estado ahí impulsándome en los momentos más difíciles de mi vida. El orgullo que sientes por mí me llevó a perseverar hasta el final. Este logro es por ti, por lo que eres, por tu fortaleza y por lo que has hecho de mí.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Lic. Alejandra Cecilia Canda Osario por su invaluable apoyo y comprensión durante todo este proceso. Su presencia ha sido un aliciente constante para seguir adelante, y su confianza en mis capacidades ha sido un pilar fundamental en la culminación de esta etapa. Su ejemplo de profesionalismo y dedicación ha sido una inspiración para mí a lo largo de este camino.

A todos y cada uno de los docentes que compartieron sus conocimientos y contribuyeron a mi formación profesional.

Lawrence Alexander Alemán Fuentes.

## **Agradecimiento.**

Agradecemos primeramente a Dios nuestro señor, por permitirnos culminar nuestra carrera universitaria, por permitirnos cerrar este maravilloso capítulo de enseñanza, por permitirnos conocernos y trabajar juntos por tanto tiempo, como amigos.

A lo largo de nuestra formación académica hemos recibido el apoyo y la guía de muchas personas, sin las cuales este trabajo no hubiera sido posible. Queremos dedicar estas palabras a expresar nuestro más profundo agradecimiento a todos aquellos que han formado parte de este importante camino.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros padres, quienes han sido el pilar fundamental en nuestras vidas. Su amor, paciencia, y constante apoyo nos han permitido alcanzar este logro. Gracias por creer en nosotros, por motivarnos en los momentos difíciles y por enseñarnos el valor del esfuerzo y la dedicación.

También queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a nuestro tutor, el Ing. Jaime Álvarez, por su invaluable guía durante el desarrollo de esta tesis. Agradecemos profundamente su compromiso y las valiosas enseñanzas que nos ha impartido.

Asimismo, queremos agradecer al Ing. Marlovio Jose Sevilla Hernandez, quien ha sido un apoyo constante durante toda nuestra carrera. Su orientación y consejos nos han ayudado a crecer no solo como estudiantes, sino también como profesionales. Su pasión y dedicación a la enseñanza han sido una fuente de inspiración para nosotros.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al éxito de este trabajo. A nuestros compañeros, amigos y profesores que compartieron este recorrido con nosotros y nos motivaron a seguir adelante.

A todos ustedes, ¡gracias!

Zendy Quiroz, Lawrence Alemán

## Resumen

El trabajo monográfico aborda el diseño de un prototipo automatizado para la distribución de agua potable en la comunidad Los Rugamas, Villa El Carmen, Nicaragua, mediante el uso de un módulo de control basado en el microcontrolador ESP32. El proyecto surge debido al crecimiento demográfico de la zona y las deficiencias en el sistema actual de abastecimiento de agua, que es un Mini-Acueducto por Bombeo con un pozo y un tanque de almacenamiento.

El objetivo principal del proyecto es mejorar la distribución de agua potable mediante la implementación de un sistema automatizado que incluye: Un microcontrolador ESP32, Sensores de nivel de agua, Una bomba de agua, Un programa desarrollado en el IDE de Arduino, Una página web para la visualización en tiempo real del estado del sistema. El sistema automatizado permitirá sectorizar el suministro de agua y satisfacer la demanda de la población, controlando el llenado del tanque y monitoreando el sistema de bombeo.

Entre las ventajas más evidentes están la eficiencia y funcionalidad debido a que el prototipo basado en ESP32 ha demostrado ser efectivo en su desempeño. Además, capacidad de monitoreo en tiempo real mediante una página web facilita la gestión y el control del sistema, mejorando la distribución mediante la automatización del sistema de bombeo y la sectorización del suministro de agua potable en la comunidad.

Entre las desventajas está que la implementación del sistema automatizado requiere un plan de mantenimiento continuo para asegurar su correcto funcionamiento y protección del acuífero, también que la comunidad dependerá de la tecnología y del correcto funcionamiento del módulo ESP32 y otros componentes electrónicos, lo que puede ser un desafío en caso de fallos técnicos.

**Palabras clave:** Automatización, ESP32, Distribución de agua potable, Mini-Acueducto por Bombeo Eléctrico (MABE), Sensores de nivel de agua, Sistema de bombeo, Monitoreo en tiempo real, Sectorización del suministro, electrónica.

## Índice de contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
Objetivo general: .....	2
Objetivos específicos:.....	2
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>4. MARCO TEORICO .....</b>	<b>4</b>
<b>4.1. Generalidades de la comunidad.....</b>	<b>4</b>
<b>4.1.1. Ubicación. ....</b>	<b>4</b>
<b>4.2. Sistema de abastecimiento actual. ....</b>	<b>5</b>
<b>4.3. Volumen.....</b>	<b>9</b>
<b>4.4. Presión.....</b>	<b>9</b>
<b>4.5. Presión Hidrostática.....</b>	<b>10</b>
<b>4.6. Caudal.....</b>	<b>11</b>
<b>4.7. Conceptos básicos para el bombeo de agua.....</b>	<b>11</b>
<b>4.8. Captación de aguas subterráneas .....</b>	<b>12</b>
<b>4.9. Mini acueducto por bombeo eléctrico (MABE). ....</b>	<b>13</b>
<b>4.10. Proyección de la población.....</b>	<b>14</b>
<b>4.10.1. Método geométrico. ....</b>	<b>14</b>
<b>4.10.2. Dotaciones.....</b>	<b>15</b>
<b>4.10.2.1. Consumo doméstico.....</b>	<b>15</b>
<b>4.10.2.2. Dotación de consumo domiciliar.....</b>	<b>15</b>
<b>4.10.2.3. Consumo Público.....</b>	<b>15</b>
<b>4.10.2.4. Consumo Promedio Diario CPD.....</b>	<b>15</b>
<b>4.11. Parámetros de diseño.....</b>	<b>16</b>

4.11.1.	Periodos de diseño. ....	16
4.11.2.	Presiones Máximas y mínimas. ....	17
4.11.3.	Velocidad permisible en tuberías. ....	17
4.11.4.	Perdida de agua en el sistema. ....	17
4.11.5.	Diagrama de control.....	18
4.12.	Software y Hardware del proyecto.....	18
4.12.1.	Bombas de agua.....	18
4.12.1.1.	Bomba centrifuga.....	18
4.12.2.	Electroválvulas.....	19
4.12.3.	Automatización con módulo de control basado en ESP32. ....	20
4.12.4.	Dispositivo ESP32.....	20
4.12.4.1.	Especificaciones del módulo ESP32. ....	21
4.12.5.	Lenguaje de programación. ....	21
4.12.6.	Arduino IDE. ....	22
4.12.7.	Proteus.....	23
4.12.8.	Sensores.....	23
5.	DISEÑO METODOLÓGICO. ....	26
6.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	27
6.1.	Descripción del proyecto.....	27
6.2.	Análisis de crecimiento poblacional en el área del proyecto .....	28
6.3.	Diseño de elementos para el sistema .....	31
6.3.1.	Fuente de abastecimiento. ....	31
6.3.2.	Estación de bombeo .....	31
6.4.	Sistema de bombeo de pozo a tanque.....	34
6.5.	Diseño de circuito del controlador a base de ESP32. ....	35

<b>6.5.1. Entradas digitales.....</b>	<b>35</b>
<b>6.5.2. Entradas analógicas.....</b>	<b>36</b>
<b>6.5.3. Salidas Digitales.....</b>	<b>37</b>
<b>6.5.4. Fuente de alimentación.....</b>	<b>38</b>
<b>6.6. Creación de tarjetas PCB.....</b>	<b>44</b>
<b>6.7. Diagrama de flujo del programa realizado para el monitoreo y control del llenado del tanque.....</b>	<b>47</b>
<b>6.8. Explicación del código implementado para el control del nivel del tanque.....</b>	<b>48</b>
<b>7. PRESUPUESTO.....</b>	<b>53</b>
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>8.1 Conclusiones.....</b>	<b>56</b>
<b>8.2.Recomendaciones .....</b>	<b>57</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>

## Índice de figuras.

Figura No. 1: Micro localización de la comunidad Los Rugamas. Fuente: Google Maps.....	4
Figura No. 2: Macro localización de la comunidad Los Rugamas. Fuente: Google Maps.....	5
Figura No. 3: Fotografía de pozo de agua potable en la comunidad Los Rugamas, obra realizada por Fundación ROTARY. Fuente propia .....	6
Figura No. 4: Tanque de almacenamiento que abastece a la comunidad. Fuente propia.....	7
Figura No. 5: Pobladores esperan con recipientes al camión cisterna para obtener agua potable. Fuente propia.....	7
Figura No. 6: Pozo de agua con extracción por medio de polea. Fuente propia. .	8
Figura No. 7: Representación de volumen. Fuente: (Miñarro, 2012).....	9
Figura No. 8: Elementos hidráulicos de bombeo. Fuente: (Arango, 2001) .....	12
Figura No. 9: Mini Acueducto por bombeo eléctrico. ....	13
Figura No. 10: Diagrama del sistema de control. Fuente propia.....	18
Figura No. 11: Bomba Centrífuga y sus partes. Fuente: (Arango, 2001).....	19
Figura No. 12: Electroválvula monoestable. Fuente: (Frank Ebel, 2010) .....	19
Figura No. 13: Modulo ESP32. Fuente (ESPRESSIF) .....	20
Figura No. 14: Interfaz de Arduino IDE. Fuente propia.....	22
Figura No. 15: Sensor de nivel de agua. Fuente: (Mecafenix, 2021).....	24
Figura No. 16: Modelo del proyecto. Fuente propia.....	27
Figura No. 17: Control de presión mediante control de nivel.....	35
Figura No. 18: Entradas digitales. Fuente propia .....	36
Figura No. 19: Entradas analógicas. Fuente propia. ....	37
Figura No. 20: Salidas digitales. Fuente Propia.....	37
Figura No. 21: Fuente de voltaje de 3.3V y 5V. Fuente Propia.....	38
Figura No. 22: Circuito de control Con ESP32. Fuente propia .....	42
Figura No. 23: Circuito de salidas analógicas usando OPAM. Fuente propia ....	43
Figura No. 24: Leds y conexión I2C. ....	43

Figura No. 25: Tarjeta de fuente-entradas y salidas- entradas analógicas. Fuente propia.....	44
Figura No. 26: Tarjeta pcb de control- salidas analógicas.....	45
Figura No. 27: PCB de visualización de estado de entradas y salidas.....	45
Figura No. 28: Diseño final del circuito .....	46
Figura No. 29: Diagrama de flujo del código realizado, parte de configuraciones. .....	47
Figura No. 30: Diagrama de flujo del código creado, parte del loop.....	48

## **Índice de tablas.**

Tabla No. 1: Equivalencias entre unidades de presión. Fuente: (Etecé, 2021)..	10
Tabla No. 2: Numero de sistemas por tipo de abastecimiento. Fuente: ENACAL 2008.....	11
Tabla No. 3: Periodos de diseño de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable. Fuente: (NTON 09 007-19 , 2021) .....	16
Tabla No. 4: Especificaciones del módulo ESP32. Fuente: (ESPRESSIF) .....	21
Tabla No. 5: Presupuesto de Tarjeta de Fuente de alimentación y entadas y salidas digitales. Fuente Propia. ....	53
Tabla No. 6: Presupuesto de tarjeta de control. Fuente propia .....	54
Tabla No. 7: Presupuesto de tarjeta de led y display. Fuente propia. ....	55

## Índice de fórmulas.

Fórmula No. 1.....	14
Fórmula No. 2.....	15
Fórmula No. 3.....	16
Fórmula No. 4.....	29
Fórmula No. 5.....	29
Fórmula No. 6.....	30
Fórmula No. 7.....	31
Fórmula No. 8.....	32
Fórmula No. 9.....	33
Fórmula No. 10.....	38
Fórmula No. 11.....	39
Fórmula No. 12.....	39
Fórmula No. 13.....	39
Fórmula No. 14.....	40

## 1. INTRODUCCIÓN.

El acceso de agua potable es una necesidad fundamental que requiere toda población, el abastecimiento y condición del recurso determina directamente el tipo y calidad de vida de la población. En la actualidad la disponibilidad de agua potable es un indicador del desarrollo socioeconómico sostenible de una sociedad.

El abastecimiento de agua potable debe cumplir con los siguientes objetivos: suministrar una cantidad suficiente para consumo de agua potable, que esta cumpla con los estándares mínimos de calidad para ser consumida, que la fuente de suministro procure estar próximo a la residencia con fácil acceso y que el costo para obtener este recurso este de acuerdo con la capacidad económica de la población.

El tema seleccionado **“Diseño de prototipo automatizado para la distribución de agua potable con un módulo de control a base de ESP32 en la comunidad Los Rugamas- Villa El Carmen”**, es enfocado en crear un sistema capaz de automatizar el proceso de distribución de una comunidad, actualmente ya existe un proyecto en ejecución que es el responsable de la elaboración de este estudio pudiendo de esta manera mejorar el abastecimiento y alargando la duración de los diferentes equipos y elementos de la instalación Electromecánica que eventualmente viene sufriendo averías causando el desabastecimiento de forma temporal, basándose este proyecto en las normas y criterios de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL)

Es muy común que para la temporada de verano en la mayoría de las localidades del pacifico y centro del país las bombas de los pozos no tengan la suficiente presión para alimentar a los contenedores (Tanques de agua) al punto que no hay la presión necesaria al ser transportada al contenedor y luego a la red de distribución, así como el crecimiento demográfico de las localidades, debido a eso surge la idea de mejorar el sistema ya existente.

## **2. OBJETIVOS.**

### **Objetivo general:**

- Diseñar un prototipo de un sistema automatizado para la distribución de agua potable en la comunidad Los Rugamas- Villa El Carmen.

### **Objetivos específicos:**

- Seleccionar los componentes, software y los métodos adecuados para el desarrollo del prototipo.
- Realizar el diseño del esquemático electrónico y circuito impreso del módulo de control a base de ESP32.
- Elaborar el programa para el ESP32 para el correcto funcionamiento del sistema.
- Realizar el montaje del prototipo y verificación del funcionamiento.

### **3. JUSTIFICACIÓN.**

En la comunidad Los Rugamas Ubicada en el municipio de Villa el Carmen departamento de Managua, debido al crecimiento demográfico que ha tenido esta comunidad, ha provocado un significativo aumento en la demanda del consumo de agua potable por la cantidad de exceso poblacional, aproximadamente 120 familias, cargando esta demanda a un único pozo que no es capaz de satisfacer toda la comunidad, debido a que el uso de maquinarias para el llenado del tanque depende de operadores haciéndola muy deficiente, propiciando así un bajo grado de calidad en el servicio; además de que es importante tomar en cuenta que la situación presente de falta de agua por los problemas ecológicos que prohíben rotundamente el desperdicio de elemento vital para la vida, por ello la tendencia actual para dar una excelente asistencia de control, abastecimiento y ahorro de agua para la ciudadanía es la automatización de los sistemas con que se cuentan y así satisfacer las necesidades de producción y demanda de la sociedad, es por esto que presentamos este estudio y como proyecto con la idea de que sea tomado como solución a esta problemática, utilizando un sistema automatizado para mejoramiento de la distribución de agua potable de la misma.

Esta propuesta permitirá la implementación de un sistema automatizado que será controlado por un módulo ESP32 y regulado por válvulas para sectorizar el sistema y así satisfacer la demanda de agua de toda la población de esta comunidad con la cual se logrará la adecuada distribución de agua potable.

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1. Generalidades de la comunidad.

#### 4.1.1. Ubicación.

Los Rugama es una comunidad situada en el municipio de Villa El Carmen, a 42 kilómetros al sur de Managua, en el kilómetro 49 de la Carretera a Pochomil. Está ubicada cerca de los pueblos de La Trinidad y San Cayetano, con coordenadas geográficas de 11.9153534 latitud norte y -86.5028131 longitud oeste.

En la Figura No. 1 se muestra la micro localización de Los Rugama, detallando su posición exacta dentro de la región. Por otro lado, en la Figura No. 2, ubicada en la siguiente página, se presenta la macro localización, proporcionando una perspectiva más amplia de su ubicación geográfica en relación con otras áreas circundantes. (utc.city, 2024)

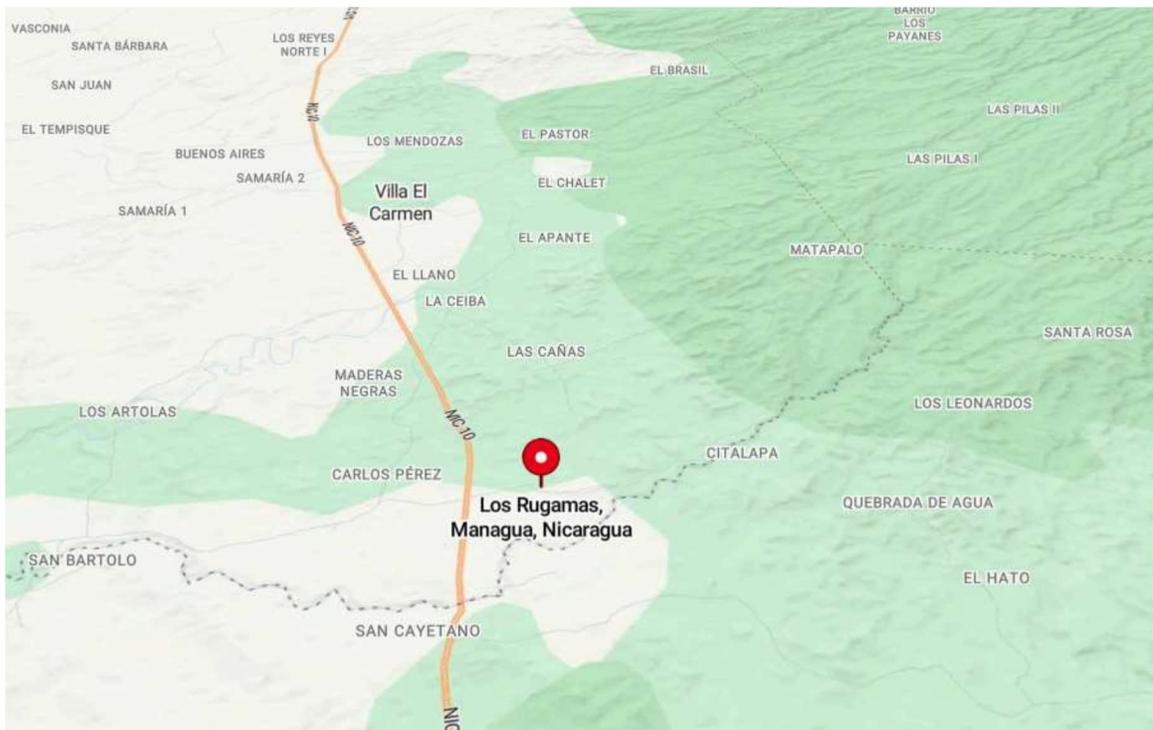


Figura No. 1: Micro localización de la comunidad Los Rugamas. Fuente: Google Maps.

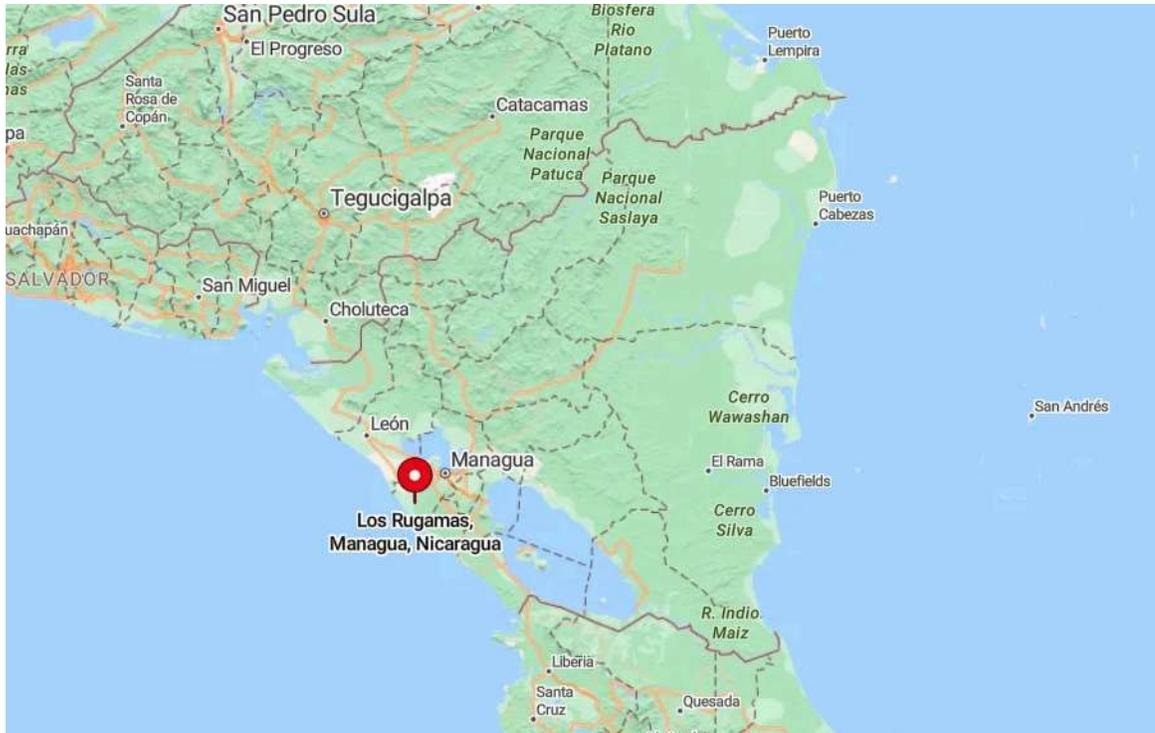


Figura No. 2: Macro localización de la comunidad Los Rugamas. Fuente: Google Maps

#### **4.2. Sistema de abastecimiento actual.**

La comunidad de Los Rugamas cuenta con una infraestructura esencial para el suministro de agua, conocida como Mini-Acueducto por Bombeo Eléctrico (MABE). Este sistema fue diseñado para satisfacer las necesidades hídricas de la población, y se basa en un pozo con una profundidad de 298 pies, como se muestra en la Figura No. 3. Además del pozo, el sistema MABE incluye un tanque de almacenamiento elevado con una capacidad de 6000 litros, el cual se puede observar en la Figura No. 4, permitiendo que el recurso esté disponible para las 120 familias que residen en la comunidad.

Sin embargo, el tanque presenta desperfectos en el equipo mecánico encargado de su llenado. Estos problemas técnicos han causado que el sistema permanezca inactivo por largos periodos de tiempo, dejando a los pobladores sin acceso a agua potable durante estas interrupciones.

El proyecto original fue ejecutado por la Fundación ROTARY en 2018, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de Los Rugamas. Desde su implementación, el sistema ha sido una fuente vital para la comunidad, pero los problemas recurrentes y desperfectos no solo afectan la operatividad del sistema, sino que también ponen en riesgo la salud y el bienestar de los habitantes, quienes dependen del agua potable para sus necesidades diarias. (Sandino, 2018)

Es fundamental que se asegure el funcionamiento óptimo del sistema mejorando el equipo mecánico existente para evitar futuros fallos y garantizar un suministro de agua constante. La confiabilidad del sistema de abastecimiento de agua es un factor clave para la seguridad y desarrollo de la comunidad, y cualquier esfuerzo dirigido a mejorar esta infraestructura tendrá un impacto positivo en la calidad de vida de los pobladores.



Figura No. 3: Fotografía de pozo de agua potable en la comunidad Los Rugamas, obra realizada por Fundación ROTARY. Fuente propia



Figura No. 4: Tanque de almacenamiento que abastece a la comunidad. Fuente propia

Con el sistema dando problemas de vez en cuando y la falta del vital líquido obliga a los pobladores a comprar agua a un camión cisterna que llega una vez por semana.



Figura No. 5: Pobladores esperan con recipientes al camión cisterna para obtener agua potable. Fuente propia

Otra forma de obtener el vital líquido es por medio de polea en un pozo que era del que la población se abastecía antes del proyecto realizado por la fundación ROTARY como se muestra en la Figura No. 6, debido a esto es de vital importancia realizar la automatización del sistema actual para hacerlo más eficiente y así lograr satisfacer las necesidades de la población de la comunidad. La automatización no solo optimizaría el proceso de extracción y distribución del agua, sino que también reduciría el esfuerzo manual requerido, minimizando el desgaste físico y el tiempo invertido por los habitantes en la obtención de este recurso. Además, un sistema automatizado podría garantizar un suministro más constante y confiable, capaz de adaptarse a las variaciones en la demanda y asegurar que todas las necesidades de la comunidad sean atendidas de manera oportuna.



Figura No. 6: Pozo de agua con extracción por medio de polea. Fuente propia.

Para el desarrollo de este proyecto es importante la explicación de ciertas propiedades físicas como lo son el volumen, la presión y el caudal o flujo volumétrico, específicamente para el agua que es el principal recurso por tratar en este proyecto. Estas propiedades se explicarán a continuación:

### 4.3. Volumen.

La materia tiene dimensiones; es decir, ocupa un lugar en el espacio, propiedad que se llama Volumen que es una magnitud métrica definida como la extensión de tres dimensiones, (alto, largo y ancho). La unidad de esta propiedad física según el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el metro cúbico ( $m^3$ ). (Miñarro, 2012)

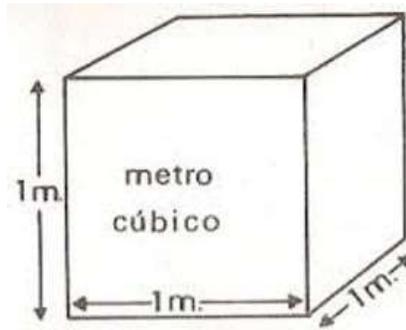


Figura No. 7: Representación de volumen. Fuente: (Miñarro, 2012)

### 4.4. Presión

La presión es una magnitud física fundamental en el estudio de los fluidos y se define como la fuerza ejercida por unidad de área. Específicamente, cuando se aplica una fuerza resultante sobre una superficie, la presión generada se distribuye de manera uniforme sobre dicha área, siendo esencial para entender cómo se comportan los fluidos en diversas condiciones. En el Sistema Internacional de Unidades (SI), la presión se mide en pascales (Pa), donde un pascal es equivalente a un newton (N) de fuerza actuando sobre un metro cuadrado ( $m^2$ ) de superficie. Esta relación es crucial para el análisis y diseño de sistemas hidráulicos y neumáticos, donde el control y la manipulación de la presión son determinantes para su funcionamiento.

En la Tabla No. 1, se presentan equivalencias entre diferentes unidades de medida de presión, tales como bares, pascales, y milímetros de agua permitiendo medir y comparar presiones bajo distintos sistemas y condiciones. Al disponer de estas equivalencias, se simplifica el trabajo en aplicaciones prácticas, como en el diseño de sistemas de tuberías, el cálculo de la presión en tanques de almacenamiento, y en la evaluación de condiciones atmosféricas, entre otros. Además, la capacidad

de convertir fácilmente entre unidades es fundamental en un entorno globalizado, donde es común trabajar con diferentes estándares y sistemas de medición. Por tanto, la comprensión y correcta aplicación de la presión en diversas unidades es esencial para asegurar la precisión y efectividad en los procesos industriales y científicos. (Energy Education, 2013)

Tabla No. 1: Equivalencias entre unidades de presión. Fuente: (Etecé, 2021).

Equivalencias entre unidades de presión.										
bar	mbar	N/m <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	mm Hg (0°C)	mm H <sub>2</sub> O (0°C)	Kg/cm <sup>2</sup>	inch Hg	inch H <sub>2</sub> O (4°C)	p si	atm (estándar)
		(Pa)	(KPa)	torr		atm (técnica)			lb/inch <sup>2</sup>	
1	1.000	1 × 10 <sup>5</sup>	100	750,062	10,197 2	1,019 72	29,53	401,463	14,5038	0,986 923
1 × 10 <sup>3</sup>	1	1 × 10 <sup>-2</sup>	0,10	0,750 062	10,1972	1,019 72 × 10 <sup>-3</sup>	0,029 53	0,401 463	0,014 501	9,869 23 × 10 <sup>-4</sup>
1 × 10 <sup>-5</sup>	1 × 10 <sup>-2</sup>	1	1 × 10 <sup>-3</sup>	7,500 62 × 10 <sup>-3</sup>	1,019 72 × 10 <sup>-2</sup>	1,019 72 × 10 <sup>-3</sup>	2,953 × 10 <sup>-4</sup>	4,014 63 × 10 <sup>-3</sup>	1,450 38 × 10 <sup>-5</sup>	9,869 23 × 10 <sup>-5</sup>
1 × 10 <sup>-2</sup>	10	1.000	1	7,500 62	1,019 72 × 10 <sup>-4</sup>	0,010 197	0,295 3	4,014 63	0,145 038	9,869 23 × 10 <sup>-3</sup>
1,333 22 × 10 <sup>-3</sup>	1,333 22	133,322	0,133 322	1	0,101 97	1,35951 × 10 <sup>-3</sup>	0,039 37	0,535 240	0,019 337	1,315 79 × 10 <sup>-4</sup>
0,098 66	98,066 5	9,806 65 × 10 <sup>5</sup>	9,806 65	73,555 9	1	0,1	2,895 9	39,370 1	1,422 33	0,096 784
0,980 665	980,665	9,806 65 × 10 <sup>4</sup>	98,066 5	735,559	10	1	28,959	393,701	14,223 3	0,967 841
0,033 864	33,864	3,386,39	3,386 39	25,4	0,345 316	0,034 532	1	13,595 1	0,491 154	0,033 421
2,490 89 × 10 <sup>-3</sup>	2,490 89	249,089	0,249 089	1,868274	2,54 × 10 <sup>-2</sup>	2,54 × 10 <sup>-3</sup>	0,073 556	1	0,036 13	2,458 × 10 <sup>-3</sup>
0,058 95	68,947 6	6894,76	6,894 76	51,714 9	0,703 07	0,070 307	2,036 02	27,68	1	0,068 046
1,013 25	1013,25	1,01325 × 10 <sup>5</sup>	1,013 25 × 10 <sup>2</sup>	760	10,332 3	1,033 23	29,921	406,78	14,695 9	1

#### 4.5. Presión Hidrostática.

Los fluidos ejercen peso y presión sobre las superficies de los recipientes y accesorios que los que lo contienen o cualquier objeto sumergido en él, a esto se le llama presión hidrostática, la cual provoca que fluidos en reposo ejerzan una fuerza perpendicular a las paredes de la superficie sin importar la orientación en las que estén las paredes. (Etecé, 2021)

#### 4.6. Caudal.

En dinámica de fluidos caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo, es decir, cuanto volumen de fluido se puede mover en un tiempo determinado. La unidad del caudal según el SI son los metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ), aunque también son utilizados los litros por segundo (L/s) y los galones por minutos (GPM). (Valdivielso, 2021)

La principal fuente de abastecimiento de agua potable es el agua subterránea, representando ésta el 70 % del total; el 30% restante proviene de agua superficial o sub superficial. Esto se debe a que más del 86 % de la población se ubica en la vertiente del Pacífico (20 % del territorio) donde hay sólo el 6% del agua superficial.

La Tabla No. 2, contiene los 200 sistemas de abastecimiento que se han contabilizado en el país y de los cuales el 78% (136) utilizan como fuente las aguas subterráneas.

Tabla No. 2: Numero de sistemas por tipo de abastecimiento. Fuente: ENACAL 2008

Sistemas por tipo de abastecimiento de agua				
Empresas distribuidoras	Número de sistemas	Número de sistemas por tipos de efluentes		
		Aguas subterráneas	Aguas superficiales	Combinación de ambas
ENACAL	147	120	19	8
AMAT/AMAJIN	19	11	8	-
MUNICIPALIDADES	33	4	29	-
PRIVADO	1	1	-	-
TOTALES	200	136	56	8

#### 4.7. Conceptos básicos para el bombeo de agua.

La Figura No. 8 muestra detalladamente los distintos componentes hidráulicos que conforman un sistema de bombeo de agua. Estos elementos incluyen una serie de datos críticos relacionados con el pozo y las tuberías, como la altura de descarga, el nivel estático, la fricción y el abatimiento.

Cada uno de estos parámetros es esencial para el correcto dimensionamiento del sistema de bombeo, ya que influyen directamente en la eficiencia y capacidad del sistema para mover el agua desde el pozo hasta el punto de uso. (Arango, 2001)

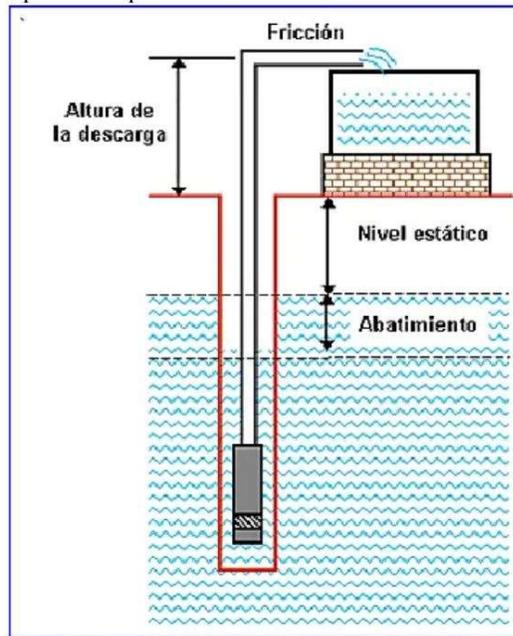


Figura No. 8: Elementos hidráulicos de bombeo. Fuente: (Arango, 2001)

- **Nivel estático:** Es la distancia vertical entre el nivel de espejo del agua antes del abatimiento, hasta el nivel del suelo en la superficie
- **Altura de descarga:** Es la distancia vertical desde el nivel del suelo hasta donde se descarga el agua en un tanque o reservorio.
- **Carga estática (CE):** La carga estática total es la suma del nivel estático del pozo más la altura de descarga.
- **Abatimiento:** Es la disminución del nivel de agua de pozo debido a la constante extracción de agua.
- **Fricción:** Es la resistencia al flujo de agua que se crea por el paso de ésta en las tuberías y accesorios como codos o reductores, ésta debe ser considerada en el diseño.
- **Carga dinámica (CD):** La carga dinámica es la suma del abatimiento más la fricción de las tuberías.

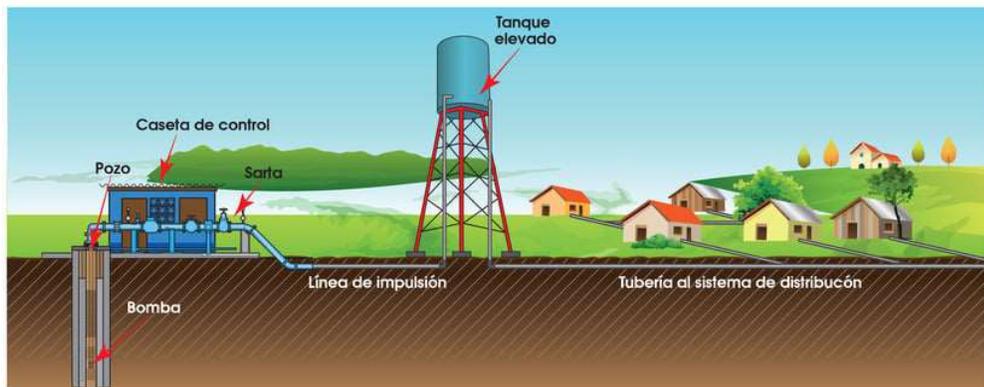
#### 4.8. Captación de aguas subterráneas

La captación se refiere a la explotación del agua en las posibles fuentes; Los cuerpos de agua subterránea o acuíferos es una estructura hidráulica natural que

almacena y permite el flujo de agua subterránea a través de ella, estos pueden ser; libres y confinados, un cuerpo de agua subterránea presenta diversas ventajas con relación a los cuerpos superficiales ya que, por el lado de la calidad del agua, la filtración natural del agua hace menos costoso el tratamiento que deba darse a esta para tornarla potable. (CONAGUA, 2007)

#### **4.9. Mini acueducto por bombeo eléctrico (MABE).**

En un MABE, el sistema de bombeo impulsa el agua a través de una línea de conducción que lleva el agua desde la captación (pozo) hasta el tanque de almacenamiento o reservorio; este último, es un depósito que sirve para almacenar y gestionar el agua que se distribuye a la comunidad. (Tixe, 2004)



*Figura No. 9: Mini Acueducto por bombeo eléctrico.*

Norma técnica obligatoria nicaragüense (NTON 09 007-19) “Normas técnicas para el diseño de abastecimiento y potabilización del agua”, es un documento oficial y obligatorio que actualmente normaliza el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable para zonas urbanas y rurales de Nicaragua. Dicho documento fue publicado en el año 2021, Establece criterios técnicos que garantizan la calidad, cantidad y continuidad en la prestación del servicio de agua potable. Dado que el acceso al agua potable es una necesidad prioritaria e indispensable para el desarrollo de la población, esta norma busca brindar sistemas eficientes y sostenibles que mejoren la calidad de vida de los nicaragüenses.

Estas normas deben de ser supervisadas y aplicadas por La Autoridad Nacional del Agua (ANA) que es el ente rector de los recursos hídricos en Nicaragua y tiene un papel importante en la regulación y gestión de los sistemas de abastecimiento de agua potable, asegurando que los diseñadores, ejecutores de obras y empresas prestadoras del servicio de agua potable cumplan con los estándares establecidos en la NTON 09 007-19.

#### **4.10. Proyección de la población.**

##### **4.10.1. Método geométrico.**

De acuerdo a lo establecido por la (NTON 09 007-19 , 2021) para el cálculo de la población futura se aplicó el método geométrico con un periodo de diseño de 20 años.

La proyección parte de los datos obtenidos de la comunidad y los registros de crecimiento poblacional en donde se reflejará la población actual y registros anteriores para el cálculo de la tasa de crecimiento.

El crecimiento poblacional está dado por la formula siguiente:

$$P_n = P_o(1 + r)^n \qquad \text{Fórmula No. 1}$$

Donde:

**$P_n$** : Población del año “n”

**$P_o$** : Población al inicio del período de diseño

**$r$** : Tasa de crecimiento en el periodo de diseño expresado en notación decimal.

**$n$** : Número de años que comprende el período de diseño.

#### **4.10.2. Dotaciones.**

##### **4.10.2.1. Consumo doméstico.**

Para la dotación de agua expresada en litros por persona por día (lppd) para la población rural concentrada será de 100 lppd. (NTON 09 007-19 , 2021)

##### **4.10.2.2. Dotación de consumo domiciliar.**

La dotación consumo domiciliar CD expresada en la Formula No.2, según la normativa técnica es la cantidad de agua potable que se estima necesaria para satisfacer las necesidades básicas de una vivienda o un hogar. En otras palabras, representa la cantidad de agua que se asigna por persona para uso doméstico, como beber, cocinar, lavar, bañarse y limpiar. Esta dotación se expresa generalmente en litros por persona por día (l/persona/día).

$$CD = \text{dotación} * \text{habitantes}$$

*Fórmula No. 2*

Donde:

*dotación* : se establece en la normativa y puede variar según el tipo de vivienda, la región, o las condiciones específicas del área.

*habitantes* : representa el número total de personas que residen en una vivienda o comunidad

##### **4.10.2.3. Consumo Público.**

Se refiere al suministro de agua potable para uso en viviendas, edificios públicos, instituciones, comercios, industrias y otros lugares donde se requiere agua para actividades cotidianas. Esto incluye el consumo humano directo (beber, cocinar, bañarse) y también el uso en instalaciones sanitarias (inodoros, lavamanos, duchas) y actividades comerciales e industriales este corresponde al 7% del consumo domiciliar.

##### **4.10.2.4. Consumo Promedio Diario CPD.**

El cálculo del consumo promedio diario considera las necesidades básicas de la población y varía según factores como el tamaño del hogar, las actividades diarias y las condiciones climáticas locales. En la Formula No.3 podemos ver como

calcular el consumo promedio diario donde CD es el consumo domiciliar y CP el consumo público.

$$CPD = (CD + CP)$$

*Fórmula No. 3*

#### **4.11. Parámetros de diseño.**

##### **4.11.1. Periodos de diseño.**

Según (NTON 09 007-19 , 2021) el periodo de diseño empleado será de veinte (20) años, los cuales serán comprendidos entre 2018 y 2038, que es el tiempo desde que se inició la obra a automatizar. En los diseños de proyectos de abastecimiento de agua potable se recomienda fijar la vida útil de cada uno de los componentes del sistema, con el propósito de determinar que periodos de estos componentes del sistema, esto se muestra en la Tabla No. 3, esto con el fin de satisfacer las demandas futuras de la comunidad.

Tabla No. 3: Periodos de diseño de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable. Fuente: (NTON 09 007-19 , 2021)

<b>Tipos de componentes</b>	<b>Periodo de diseño años</b>
Presa, Diques	50
Pozos perforados	20
Plantas de potabilización	20
Pozos excavados	10
Equipos de bombeo	10
Captaciones superficiales y manantiales	20
Captación de agua de lluvia	10
Desarenador	20
Filtro Grueso Ascendente en capas (FGAC)	20
Filtro Grueso Dinámico (FGD)	20
Líneas de conducción	20
Filtro Lento de Arena (FLA)	20
Tanque de almacenamiento	20

Red de distribución	20
Galería de infiltración	20

#### **4.11.2. Presiones Máximas y mínimas.**

Para brindar presiones adecuadas en el funcionamiento del sistema de abastecimiento se recomienda que estas se cumplan dentro de un rango permisible, en los valores siguientes:

Presión mínima: 5.0 metros.

Presión máxima: 50.0 metros.

Se permitirán en puntos aislados, presiones estáticas hasta de 70.00m, cuando el área de servicio sea de topografía muy irregular. (NTON 09 007-19 , 2021)

#### **4.11.3. Velocidad permisible en tuberías.**

Según lo que establece la norma (NTON 09 007-19 , 2021) se recomienda fijar valores de velocidad de flujo en los conductos para así evitar el desgaste interno o sedimentación en las tuberías.

Los valores permisibles son:

Velocidad Máxima= 0.4m/s

Velocidad Mínima= 2.0 m/s

#### **4.11.4. Pérdida de agua en el sistema.**

Cuando se realiza una proyección, de un sistema es necesario considerar las pérdidas que se presentan en cada uno de los componentes, la cantidad total de agua perdida se fija como porcentaje del consumo promedio diario que no debería ser mayor al 20% según la norma técnica. (NTON 09 007-19 , 2021)

#### 4.11.5. Diagrama de control.

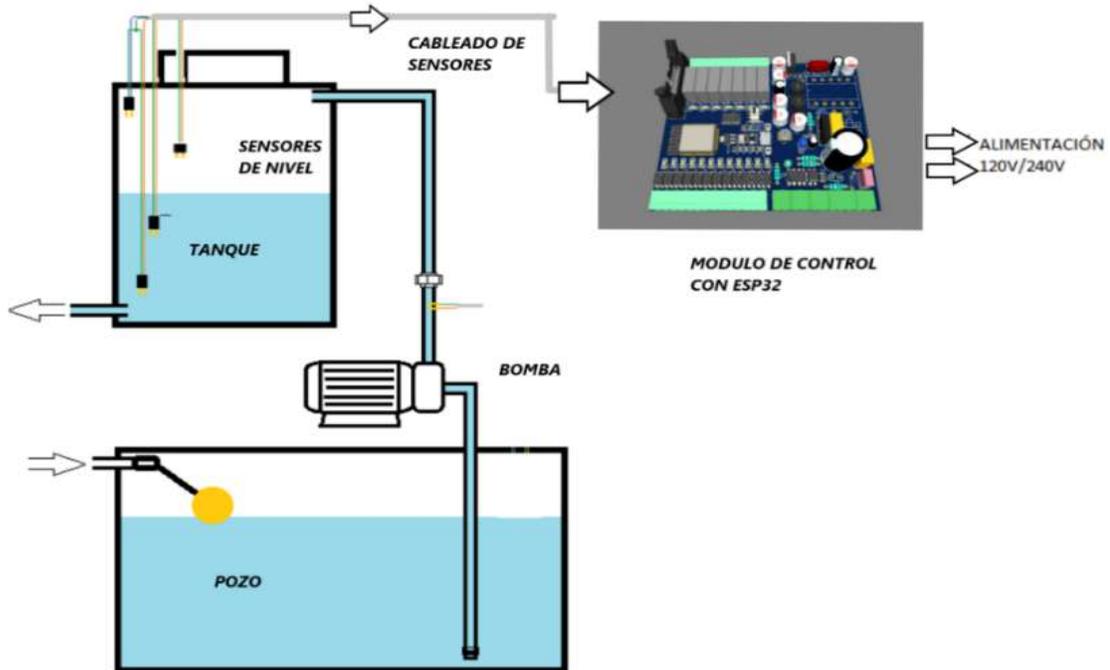


Figura No. 10: Diagrama del sistema de control. Fuente propia.

#### 4.12. Software y Hardware del proyecto.

##### 4.12.1. Bombas de agua.

Una bomba de agua es un elemento de transformación de energía mecánica o eléctrica en hidráulica. Ésta se utiliza para llevar al fluido de una zona de menor presión o altitud a una zona de mayor presión o altitud.

##### 4.12.1.1. Bomba centrífuga.

Una bomba centrífuga es un dispositivo que opera mediante un conjunto de paletas rotatorias, las cuales están encerradas dentro de una caja o cárter, también conocida como cubierta o coraza. Este diseño permite que la bomba funcione de manera eficiente al convertir la energía mecánica en energía cinética, que luego se transfiere al fluido en movimiento. En la Figura No. 11 se puede observar una representación detallada de las distintas partes que conforman una bomba centrífuga. (Arango, 2001)

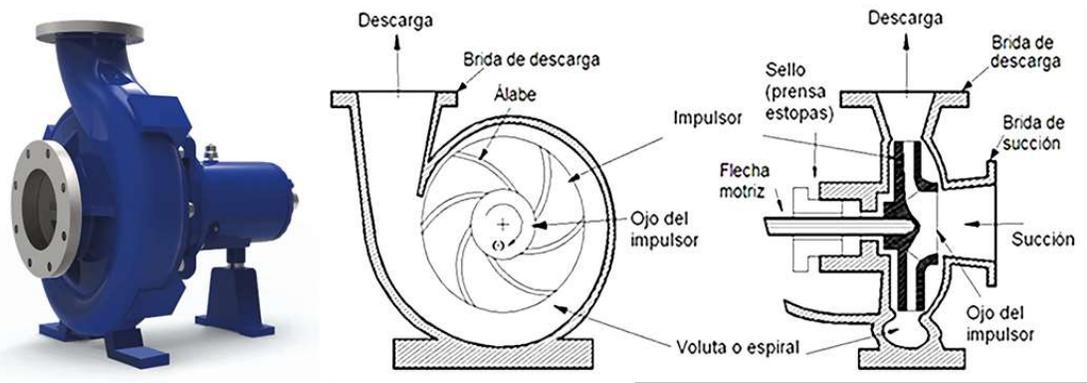


Figura No. 11: Bomba Centrífuga y sus partes. Fuente: (Arango, 2001)

#### 4.12.2. Electroválvulas.

Es una válvula electromecánica que está diseñada generalmente para controlar flujo que pasa a través de un tubo y la válvula se controla por corriente eléctrica por medio de una bobina solenoide e incluso un motor paso a paso. Este tipo de válvula es empleado para controlar fluidos como: aire, gas y líquidos al introducir un voltaje al solenoide se genera un campo magnético que atrae al núcleo de hierro permitiendo el paso del fluido. En la Figura No. 12 podemos ver una electroválvula monoestable. (Frank Ebel, 2010)

El funcionamiento de la válvula se basa en la introducción de un voltaje en la bobina solenoide. Este voltaje genera un campo magnético que atrae un núcleo de hierro móvil, lo que provoca la apertura o cierre de la válvula, permitiendo o bloqueando el paso del fluido a través del sistema. (Frank Ebel, 2010)



Figura No. 12: Electroválvula monoestable. Fuente: (Frank Ebel, 2010)

#### **4.12.3. Automatización con módulo de control basado en ESP32.**

A medida que la automatización industrial se acelera, los ingenieros en la fábrica trabajan para conectar los sistemas a internet de las cosas (IoT), lo que, en muchos sentidos, ha hecho que las plantas de fábrica más antiguas queden en el pasado. Sin embargo, tanto para sistemas nuevos como heredados, la conectividad inalámbrica a IoT mediante Wi-Fi o Bluetooth se ha hecho relativamente simple utilizando módulos y kits ESP32. (Kolban, 2017). Creado y desarrollado por Espressif Systems, ESP32, una serie de microcontroladores de bajo costo y de bajo consumo con sistema en chip con Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrados. (ESPRESSIF, 2024).

Aprovechando las características de este microcontrolador diseñaremos una tarjeta electrónica que será el módulo de control que contará con 8 entradas digitales de 24V y 8 salidas a transistores. La programación de las tareas de automatización del módulo será realizada en el IDE de Arduino.

#### **4.12.4. Dispositivo ESP32.**

El ESP32 es un System On Chip igualmente diseñado por la empresa Espressif Systems, pero fabricado por Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC). Al igual que el chip ESP8266 dispone de varios modelos con diferentes características. En la Figura No.13 se aprecia el módulo ESP32 que usaremos en nuestro prototipo. La propia empresa define esta serie como una solución para microcontroladores que no dispongan de conectividad. (ESPRESSIF, 2024)

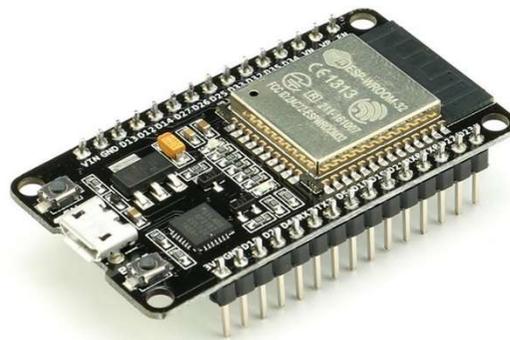


Figura No. 13: Modulo ESP32. Fuente (ESPRESSIF, 2024)

#### 4.12.4.1. Especificaciones del módulo ESP32.

A continuación, se muestra en la tabla 4 las especificaciones del módulo ESP32.

Tabla No. 4: Especificaciones del módulo ESP32. Fuente: (ESPRESSIF, 2024)

Especificaciones del módulo ESP32	
SOM (Sistema en módulo): ESP-WROOM-32 (Espressif)	UART (Receptor/Transmisor Asíncrono Universal)
SoC (Sistema en chip): ESP32 (ESP32-D0WDQ6)	SPI (Interfaz periférica serie)
Procesador: Tensilica Xtensa Dual-Core 32-bit LX6.	IPS (Sonido Interchip Integrado)
Frecuencia del reloj: 160 a 240 Mhz.	RMII (interfaz independiente de medios reducida)
Desempeño: Hasta 600 DMIPS	PWM (Modulación de ancho de pulso)
Memoria: 448 KByte ROM, 520 KByte SRAM	• Regulador de 3.3 volts on board.
16 KByte SRAM in RTC (Real Time Clock), QSPI Flash/SRAM, 4 Mbytes	• Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC
WiFi con antena integrada: estándar 802.11 b/g/n. Velocidad de 150.0 Mbps	• Niveles de voltaje de entradas/salidas: 3.3v CD
Bluetooth: BLE (Bluetooth Low Energy) y Bluetooth Classic	• ADCs (Convertidores Analógico Digital) de 12 bits
Interfaz USB-Serial CP2102 on board.	• DACs (Convertidores Digital Analógico) de 8 bits
Modo de funcionamiento Low Power	• I2C (Circuito Interintegrado)
Entrada/Salida de periféricos (GPIO de 25 pines)	Número total de pines GPIO: 25

#### 4.12.5. Lenguaje de programación.

En el mundo de la electrónica el lenguaje usado por la maquinas es el más básico 0 y 1, también llamado lenguaje máquina, por ello se necesita un programa que ayude a que este sistema de lenguaje sea entendible entre humano y máquina, para ello existen empresas que desarrollan software con bases de datos de las características de distintos micro procesadores. Los lenguajes de programación más comúnmente utilizados para programar el NodeMCU ESP32 son Arduino y MicroPython. Arduino es un lenguaje basado en C/C++, conocido por su simplicidad y facilidad de uso, ideal para principiantes y proyectos rápidos. Por otro lado, MicroPython es una implementación de Python optimizada para microcontroladores, ofreciendo una alternativa más flexible y poderosa para

desarrolladores que buscan mayor control y funcionalidad en sus proyectos. Estos lenguajes permiten a los programadores escribir código de manera eficiente, asegurando que sus instrucciones se traduzcan correctamente al lenguaje de la máquina y se ejecuten de manera precisa en el hardware.(Kolban, 2017)

#### 4.12.6. Arduino IDE.

Arduino IDE es un entorno de desarrollo integrado (IDE) utilizado para programar las placas de Arduino. Es un software de código abierto que permite escribir, compilar y cargar el código en la placa de microcontrolador. Proporciona una interfaz sencilla con funciones básicas para facilitar la programación a usuarios de todos los niveles, desde principiantes hasta expertos, utiliza principalmente el lenguaje C y C++ para la programación. Sin embargo, también soporta otros lenguajes como MicroPython, lenguaje ensamblador, Python y C#. Además, hay lenguajes alternativos como XOD y Snap4Arduino que son compatibles con Arduino. (Arduino, 2024)

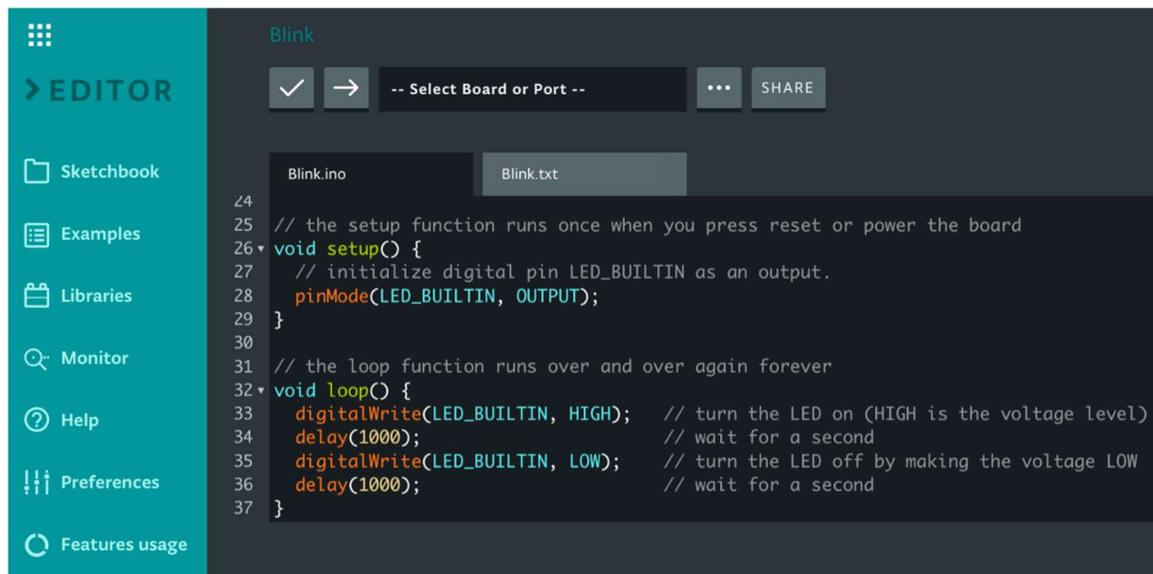


Figura No. 14: Interfaz de Arduino IDE. Fuente propia.

#### **4.12.7. Proteus.**

Para el diseño del circuito electrónico del prototipo se utilizó Proteus que es una suite de software utilizada para la automatización del diseño electrónico. Sirve para: Simulación de circuitos electrónicos, permitiendo a los usuarios probar y depurar sus diseños antes de construir físicamente el circuito. Diseño de PCB (placa de circuito impreso), facilitando la creación de diseños de PCB complejos con herramientas para el diseño esquemático y el trazado de PCB.

Es ampliamente utilizado por ingenieros y estudiantes para validar el funcionamiento de sus circuitos en un entorno virtual antes de realizar prototipos físicos. (HUBOR, 2015)

#### **4.12.8. Sensores.**

Los sensores son dispositivos que tienen la capacidad de captar señales físicas provenientes del entorno y convertirlas en señales digitales en forma de ceros y unos, tal como lo explican (Leonel Germán Corona Ramírez, 2014).

En el campo de la ingeniería y la automatización, existen diferentes tipos de sensores diseñados para diversas aplicaciones, este proyecto pretende utilizar aquellos que faciliten la detección del nivel del agua, como lo son los sensores de nivel, enviando una señal al microcontrolador ESP32.

Los sensores de nivel, que también reciben el nombre de "interruptores de nivel" o "sensores de boya", son instrumentos especializados en la detección del nivel de líquidos. Su funcionamiento se basa en un sistema compuesto por un interruptor de contacto (reed switch) y un flotador magnético. El reed switch o interruptor de lengüeta se activa o desactiva en función de la posición del flotador, el cual se desplaza según el nivel del agua en el tanque. Este mecanismo simple pero eficaz permite una detección precisa y confiable del nivel del líquido, asegurando que el microcontrolador reciba la información necesaria para operar de manera óptima. Estos sensores son esenciales en aplicaciones donde es crítico mantener niveles específicos de líquidos, y su integración con microcontroladores como el ESP32 permite la automatización y control del sistema de manera efectiva. (Mecafenix, 2021)



Figura No. 15: Sensor de nivel de agua. Fuente: (Mecafenix, 2021)

El sensor que utilizaremos para medir el nivel del agua en el tanque es el ZPC5-M16, que es un sensor de nivel de agua de tipo flotador con especificaciones que lo hacen adecuado para diversas aplicaciones de monitoreo y control de niveles de líquidos. (Mecafenix, 2021)

Este tipo de sensor es ampliamente utilizado en aplicaciones donde es necesario detectar el nivel de líquidos en un tanque o recipiente.

#### Especificaciones del Sensor ZPC5-M16

- Tipo de operación: Sensor de nivel de agua por flotador.
- Configuración: Montaje horizontal (ideal para tanques y depósitos).
- Cuerpo: Generalmente fabricado en plásticos como polipropileno (PP) o nylon, que son resistentes a la corrosión y adecuados para el contacto con una amplia variedad de líquidos.
- Flotador: Fabricado en materiales que proporcionan buena flotabilidad y durabilidad.
- Diámetro de la rosca de montaje: M16 (16 mm).

- Longitud total: Aproximadamente 50 mm (puede variar ligeramente según el modelo).
- Voltaje nominal: 100V (puede variar en algunas aplicaciones específicas).
- Corriente máxima de conmutación: 0.5A o 1A dependiendo del modelo.
- Potencia de conmutación: 10W.
- Resistencia de contacto: Baja, generalmente unos pocos ohmios.
- Tipo de montaje: Montaje roscado M16 para una instalación segura en paneles o tanques.
- Orientación: Instalación horizontal, lo que permite el uso en las paredes laterales de los tanques.
- Temperatura de operación: -10°C a 85°C, adecuado para la mayoría de aplicaciones industriales y domésticas.
- Presión máxima: Diseñado para operaciones en ambientes de baja a media presión.
- Salida de señal: Dependiendo del cableado, puede configurarse como normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC).
- Capacidad de personalización: Algunas versiones pueden tener cables más largos o materiales diferentes según la necesidad de la aplicación.

## **5. DISEÑO METODOLÓGICO.**

Este proyecto es una investigación cuantitativa, que está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Por ejemplo, definir mediante una encuesta la opinión de la población sobre esta situación que prevalece hasta el momento y saber que proponen ellos en especial atención a todo lo relacionado con el sistema actual de abastecimiento de agua.

Otro estudio de alcance metodológico es el descriptivo porque se estudiará el estado y funcionalidad de los componentes del sistema actual, teniendo en cuenta los datos obtenidos con las visitas de campo, con el fin de seleccionar los componentes, software de diseño y métodos adecuados para poder desarrollar el sistema.

También tendrá componentes de carácter experimental, porque se realizaran pruebas del diseño del prototipo, se usara un módulo controlador con una tarjeta de desarrollo ESP32, que mediante la implementación de optoacopladores y transistores MOSFET podrá controlar múltiples entradas y salidas, llevando a cabo la verificación del nivel del agua en el tanque utilizando sensores de nivel, para activar o desactivar la bomba según el código de programación realizado para el microcontrolador, para el desarrollo y montaje del prototipo del sistema se usara una maqueta para la verificación de la funcionalidad del diseño.

## 6. DESARROLLO DEL PROYECTO.

### 6.1. Descripción del proyecto.

El propósito que tiene este proyecto es, mostrar un sistema de control económico, con la misma eficacia que muestra un sistema robusto. Además de contar con la ventaja de ser una tecnología de libre accesibilidad, tiene la factibilidad de ser modificada acorde de la necesidad del usuario, sin perder la compatibilidad con otros dispositivos de control.

La imagen 17, muestra un pozo de agua, un tanque de almacenamiento que es de 6000 litros y un tanque de distribución conectados entre sí. Este último tanque es virtual y la aplicación es para simular consumo de agua en el sistema.

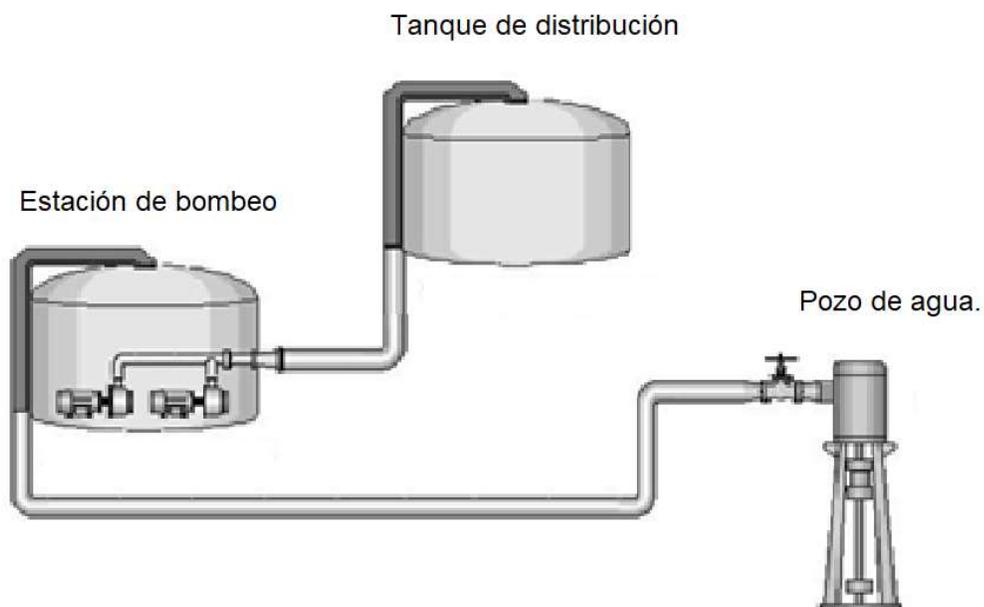


Figura No. 16: Modelo del proyecto. Fuente propia.

Teniendo esto en cuenta, el funcionamiento del proyecto es el siguiente:

Si el nivel de agua en el tanque de almacenamiento está al 25%, la bomba se activará, mostrando en la pantalla el nivel de llenado hasta llegar al 100%, apagando la bomba.

Ubicamos un sensor que permitirá detectar si el flujo del agua que alimentara el sistema para evitar que la bomba trabaje en vacío, provocando el recalentamiento de la misma.

Para el desarrollo del proyecto se deberá crear un código que se pueda ejecutar en el microcontrolador y que permita la automatización del sistema de una manera eficiente, para ello se utilizó el IDE de Arduino, mediante una página web permitirá visualizar en tiempo real el nivel del agua en el tanque de almacenamiento, estado del sistema de bombeo y del pozo. Para la construcción de esta página web, se utilizó diferentes lenguajes de programación como son html y css que son los estilos de la misma, ejecutando acciones específicas y comunicándose mediante websocket que es una tecnología que permite abrir una comunicación bidireccional interactiva entre el navegador del usuario y un servidor. Con esto se pueden enviar mensajes a un servidor y recibir respuestas impulsadas por eventos sin tener que consultar al servidor para una respuesta.

Teniendo en cuenta esto haremos una conexión a una red Wi-Fi usando el módulo como un servidor web configurando el ESP32 en modo estación (STA) que permite que el ESP32 se conecte a una red Wi-Fi existente como un dispositivo cliente. Esto significa que el ESP32 puede enviar y recibir datos a través de esa red, similar a cómo un teléfono o una computadora se conectarían a Wi-Fi para acceder a Internet. Con esta configuración podremos recibir información desde los sensores del porcentaje de llenado del tanque de almacenamiento que será mostrada en una página web de manera gráfica.

## **6.2. Análisis de crecimiento poblacional en el área del proyecto**

Para poder estimar el crecimiento de la población de la comunidad en cuestión se procedió a analizar el comportamiento histórico referido al segmento rural de la comunidad de Los Rugamas, haciendo uso del método geométrico, que consiste en suponer que el crecimiento de la comunidad es en todo instante proporcional a su población, siendo este el de mayor uso en Nicaragua.

Para el cálculo de los consumos requeridos por la población en el área de proyecto, se calcularon empleando la formulas siguientes, considerando una cobertura al 100%. (NTON 09 007-19 , 2021)

- **Consumo promedio diario (CPD)**

$$CPD = \frac{\text{población hab} * \text{dotación lppd}}{86400} \text{ lps} \quad \text{Fórmula No. 4}$$

La Formula No. 4 se utiliza para calcular la tasa de flujo continuo (CPD) en sistemas de suministro de agua.

Donde:

- *población hab*: La cantidad de habitantes.
- *dotación lppd*: La dotación por persona por día, es decir, cuántos litros de agua se asignan por persona cada día, depende del tipo de población y sus características, para una población rural es de 70 lppd y para una población urbana es de 150 lppd.
- 86400: El número de segundos en un día.
- *lps* : Litros por segundo.

Al multiplicar la población por la dotación y dividir entre 86400, se obtiene el flujo continuo en litros por segundo (lps), que es la cantidad de agua necesaria para abastecer a la población durante un día.

$$CPD = \frac{450 * 70 \text{ lppd}}{86400} \text{ lps} \approx 0.36 \text{ litros por segundo (lps)}$$

- **Consumo promedio diario total (CPDT)**

$$CPDT = CPD + hf \quad \text{Fórmula No. 5}$$

La Formula No.5 se refiere a la tasa de flujo continuo total (CPDT).

Donde:

*CPD*: Es el consumo promedio diario calculada previamente, que representa la cantidad de agua necesaria para abastecer a la población.

*hf*: Representa la pérdida de carga en el sistema, es decir, la pérdida de presión o energía del agua cuando fluye a través de tuberías y otros componentes del sistema debido a la fricción y otros factores. Se debe considera como perdida un 20% el consumo promedio diario CPD.

Al sumar la pérdida de carga al CPD, se obtiene el CPDT, que es el flujo necesario teniendo en cuenta las pérdidas para asegurar que se satisfagan las necesidades de agua de la población.

Si asumimos el 20% de perdidas entonces:

$$hf = 0.20 \times 0.36 \text{ lps} = 0.072 \text{ lps}$$

$$CPDT = 0.36 \text{ lps} + 0.072 = 0.432 \text{ lps}$$

Por lo tanto, el caudal promedio diario total (CPDT) sería 0.432 litros por segundo.

- **Consumo de Máximo por día (CMD)**

$$CMD = 1.5 * CPD + hf$$

*Fórmula No. 6*

La Formula No.6 se refiere al Consumo Máximo Diario (CMD). En esta fórmula:

Donde:

$1.5 * CPD$ : Se multiplica al consumo promedio diario (CPD) por 1.5 para considerar un incremento en el consumo de agua durante el pico del día.

*hf*: Es la pérdida de carga que ya hemos mencionado anteriormente.

Al sumar la pérdida de carga al consumo incrementado, se obtiene el CMD, que es la cantidad máxima de agua que se espera que se consuma en un día, incluyendo las pérdidas en el sistema.

$$CMD = 1.5 * 0.36 \text{ lps} + 0.072 \text{ lps} = 0.648 \text{ lps}$$

- **Consumo de Máximo hora (CMH)**

$$CMH = 2.5 * CPD + hf$$

*Fórmula No. 7*

La Formula No.7 se refiere al Consumo Máximo Horario (CMH).

En esta fórmula:

$2.5 * CPD$ : Se multiplica la tasa de flujo continuo  $CPD$  por 2.5 para considerar un incremento aún mayor en el consumo de agua durante la hora pico del día.

$hf$ : Es la pérdida de carga en el sistema.

Al sumar la pérdida de carga al consumo incrementado por hora, se obtiene el  $CMH$ , que es la cantidad máxima de agua que se espera que se consuma en una hora, teniendo en cuenta las pérdidas del sistema.

$$CMH = 2.5 * 0.36 \text{ lps} + 0.072 \text{ lps} = 1.08 \text{ lps}$$

### **6.3. Diseño de elementos para el sistema**

#### **6.3.1. Fuente de abastecimiento.**

La demanda aplicada sobre la fuente de abastecimiento se consideró a lo largo del periodo de diseño a los valores correspondientes para el Consumo Máximo por día (CMD).

#### **6.3.2. Estación de bombeo**

Está diseñada para vencer la Carga total dinámica (CTD), que es la carga contra la que deben de operar la bomba, siendo esta la unidad de peso del líquido que

debe ser suministrada por la bomba para que se realice el trabajo que se pretende, para el caso de pozos perforados se utilizó la Formula No.8 que calcula la energía total necesaria para mover el agua a través del sistema, teniendo en cuenta todos estos factores. (NTON 09 007-19 , 2021)

$$CTD = NB + NRT - NTP + H \text{ succión} + H \text{ descarga} \quad \text{Fórmula No. 8}$$

Donde:

CTD = Carga total Dinámica.

NB= Nivel de bombeo del pozo o profundidad en metros.

NRT= Nivel de rebose del taque

NTP= Nivel de terreno del pozo

H succión= perdida por succión

H descarga+ perdida por descarga

Primero, convertimos la profundidad del pozo de pies a metros:

1 pie=0.3048 metros

289 pies×0.3048 metros/pie=88.09 metros

### **Determinación de Parámetros**

- Nivel de Bombeo (NB): NB será la profundidad del pozo, que es 88.09 metros.
- Nivel de Rebose del Tanque (NRT): Necesitamos la altura desde la bomba hasta el nivel máximo del tanque de almacenamiento. Supongamos que el tanque está a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo.
- Nivel de Tubería de Presión (NTP): Supongamos que el punto más alto de la tubería de presión está a 5 metros sobre el nivel del suelo.

- Pérdidas por Succión (H succión): Supongamos que las pérdidas por succión son 2 metros.
- Pérdidas por Descarga (H descarga): Supongamos que las pérdidas por descarga son 3 metros.
- Aplicando la fórmula:

$$CTD = 88.09 m + 10m - 5m + 2m + 3m = 98.09 \text{ metros}$$

Esto significa que la carga total dinámica que la bomba debe vencer es de 98.09 metros.

La potencia neta requerida viene de parte del motor, que a su vez esta comandada por la potencia neta demandada de la bomba, las perdidas por fricción mecánica en rotación del eje y las perdidas en el cabezal de descarga. Se tiene como norma el uso de un factor de 1.2 para calcular la potencia del motor en caballos de fuerza (HP) en base a los HP de la bomba. Este factor cubre ampliamente las perdidas mecánicas por fricción en el eje y cabezal de descarga de la bomba. Para realizar el cálculo de la potencia hidráulica de la bomba se empleará la fórmula No.9. (NTON 09 007-19 , 2021)

$$P_b = \frac{Q * CTD}{3960} \qquad \text{Fórmula No. 9}$$

Donde:

$P_b$  = Potencia e la bomba

CTD= Carga total dinámica

Q= Caudal de bombeo

3960: Un factor de conversión que resulta de la combinación de unidades (galones, pies, minutos y caballos de fuerza) para que el resultado de la ecuación se exprese en caballos de fuerza (HP).

Pasos para poder realizar los cálculos de la bomba:

- Primero hay que convertir el caudal de litros por segundo a galones por minutos (GPM):

$$0.36 \text{ litros/segundo} * \frac{60 \text{ segundos}}{1 \text{ minuto}} * \frac{1 \text{ galon}}{3.785 \text{ litros}} \approx 5.7 \text{ GPM}$$

- Para la carga total dinámica (CTD) hay que convertir los 98.09 metros a pies

$$98.09 \text{ metros} * 3.281 \text{ pies/metro} = 321.78 \text{ pies}$$

- Ahora calculando la potencia de la bomba con la Fórmula No. 9:

$$P_b = \frac{5.7 \text{ GPM} * 32.78 \text{ pies}}{3960} \approx 0.46 \text{ HP una bomba de 0.5 HP}$$

#### **6.4. Sistema de bombeo de pozo a tanque.**

Para entregar un suministro de agua o algún fluido de manera controlada se supone optar por una de dos alternativas que son: caudal constante o presión constante, siendo lo más habitual el suministro a presión constante. Ejemplo de ello es sistema utilizado por las compañías de agua potable, que mantienen una presión relativamente constante en todos los grifos y llaves de la ciudad.

Los sectores alejados de la ciudad necesitan contar con su propio sistema de suministro de agua potable ya sea para regadío, aseo o consumo humano.

Una manera de lograr presión constante es almacenando líquido en altura, para que sea el propio peso del agua el que otorgue la presión requerida. En estos tipos de sistemas el control es del tipo "ON-OFF", el sistema está conformado por un tanque en altura, una o más motobombas, sensores de nivel, en este caso un controlador para automatizar el llenado de dicho tanque para que el líquido se mantenga a ciertos rangos de nivel, obteniendo finalmente una banda de presión a la salida del sistema.

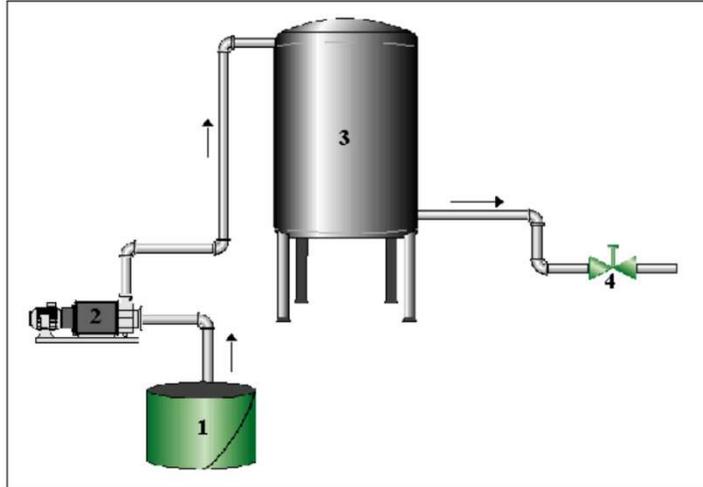


Figura No. 17: Control de presión mediante control de nivel.

La Figura No. 17, representa un sistema de control de presión mediante control de nivel, en este diagrama, el número 1 identifica el estanque de origen, desde donde se extrae el líquido. Este estanque puede representar diversas fuentes de agua, como un pozo subterráneo o un río, proporcionando el suministro inicial necesario para el sistema.

El número 2 corresponde a la bomba que lleva el agua al tanque de almacenamiento, el número 3 es el tanque que se encuentra en altura que es donde se almacena el líquido y es la altura que proporciona la presión que es contenida por la válvula identificada con el número 4 que permite controlar el caudal deseado.

## 6.5. Diseño de circuito del controlador a base de ESP32.

Para el diseño del circuito que realizara la tarea de control del sistema lo dividiremos en 3 partes, la primera es la de fuente de voltaje, entradas digitales y analógicas y salidas digitales a continuación se explica cada uno de los módulos que constituyen esta parte.

### 6.5.1. Entradas digitales.

Para aislar eléctricamente las entradas del ESP32 se diseñó un circuito que se constituye principalmente de 6 optoacopladores 4N25, cada optoacoplador va

conectado a cada una de las entradas del ESP32 como se muestra en la Figura No.18.

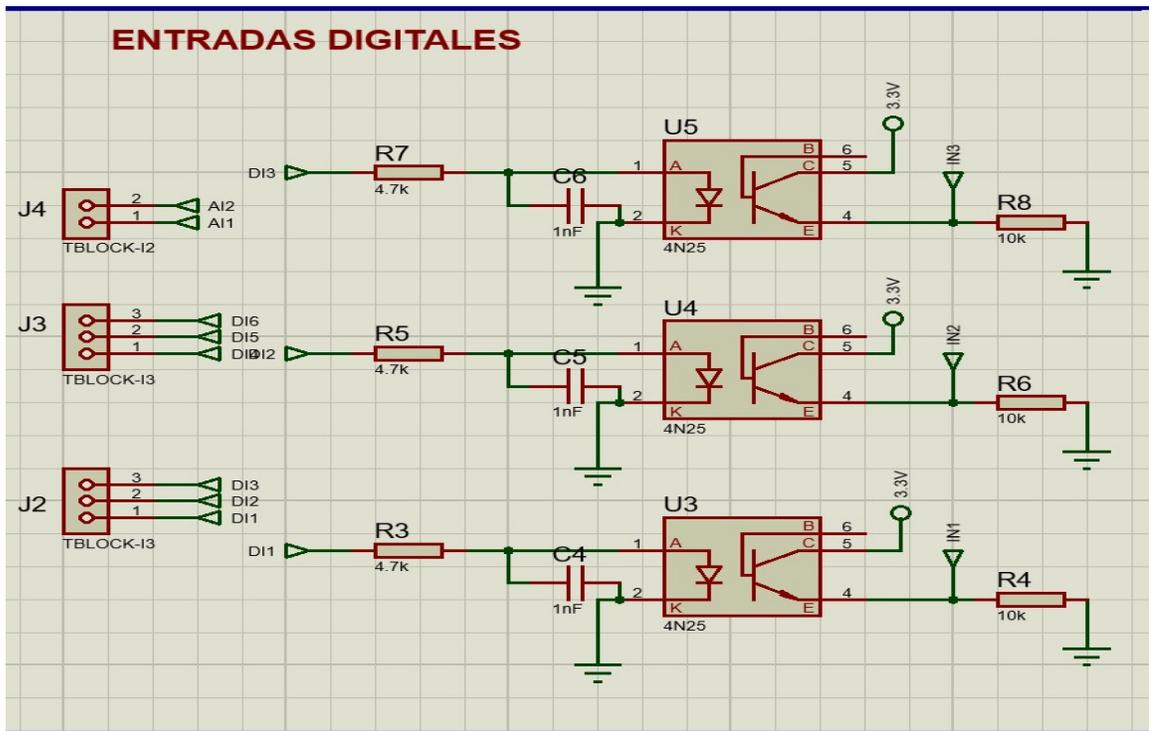


Figura No. 18: Entradas digitales. Fuente propia

Con este circuito podremos conectar entradas de 12V aprovechando la funcionalidad de los optoacopladores con una resistencia PULL DOWN en los pines 4 del 4N25, controlando así voltajes de 0 a 12V y teniendo siempre entradas de 0 a 3.3V en el ESP32.

### 6.5.2. Entradas analógicas.

Para las 2 entradas analógicas que se muestran en la Figura No. 19, se realizó un circuito que consta de un amplificador operacional LM358P configurado como seguidor de voltaje, esta configuración tiene un voltaje de salida igual a su voltaje de entrada ( $V_o = V_i$ ). Solicita muy poca corriente al voltaje de entrada debido a la alta impedancia, esto ayuda a anular los efectos de cargas y perturbaciones al acoplar circuitos, aislando así de forma segura el circuito. Con esto podremos conectar entradas analógicas de 0 a 10V y gracias al diodo Zener de 3.3v

1N4728A tendremos en su salida un voltaje que va de 0 a 3.3V para los pines analógicos del ESP32. (WordPress, 2020)

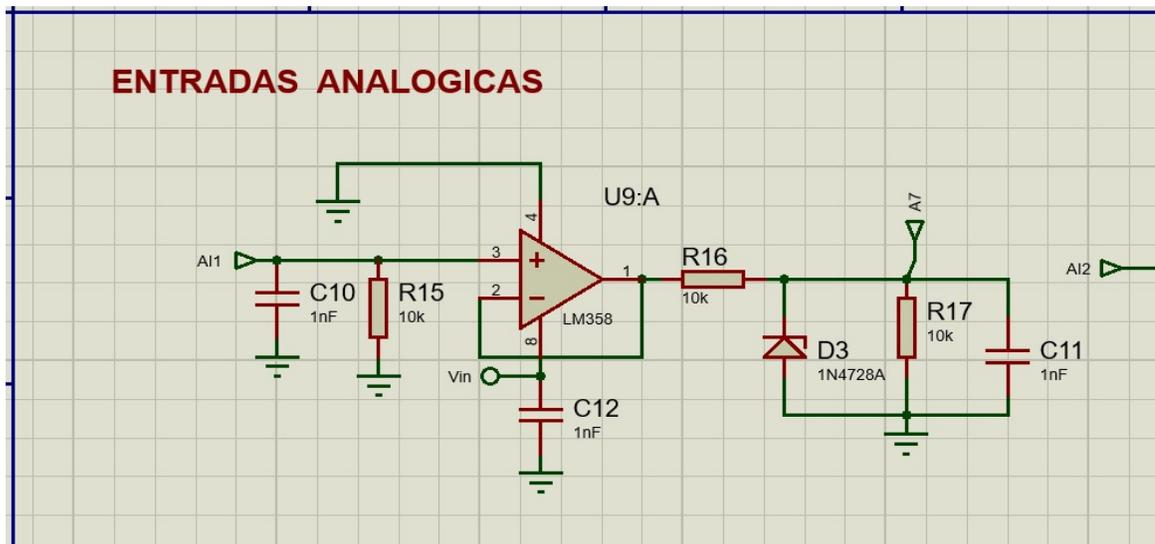


Figura No. 19: Entradas analógicas. Fuente propia.

### 6.5.3. Salidas Digitales.

Para las salidas digitales que se muestra en la imagen 21, se usó 6 relé de 5V que soportan hasta 10 Amperios, debido a su alto aislamiento podremos controlar cargas de alta potencia dependiendo de la aplicación.

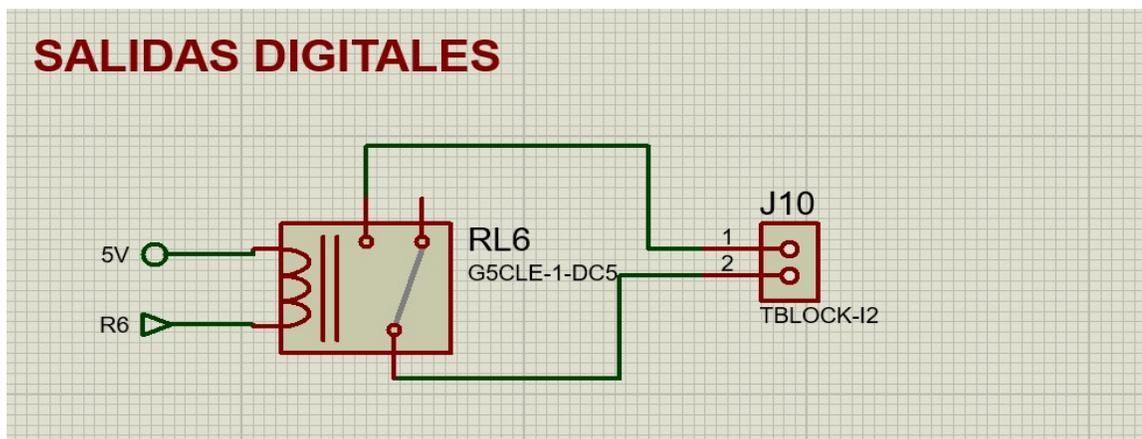


Figura No. 20: Salidas digitales. Fuente Propia.

#### 6.5.4. Fuente de alimentación.

Para poder alimentar el circuito con 12V se diseñó una fuente a basada en el regulador LM2595-ADJ a como se muestra en la Figura No. 21, que puede recibir desde 4.5V hasta 40V y que puede entregar un voltaje de salida ajustable desde 1.5V a 35V.

Este tipo de fuente se le conoce como Step Down DC-DC o reductor. La fuente también posee un regulador fijo de 3.3V de la serie LM1117, este alimentara al ESP32.

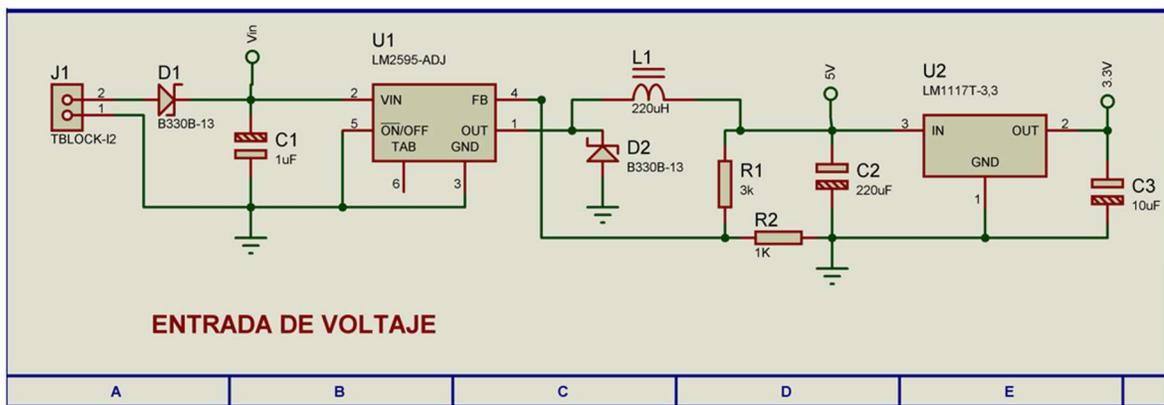


Figura No. 21: Fuente de voltaje de 3.3V y 5V. Fuente Propia.

Para realizar los cálculos de la tensión de salida utilizamos la Formula No. 10 (Texas Instruments, 2016).

$$V_{out} = V_{ref} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{adj} \cdot R_2 \quad \text{Fórmula No. 10}$$

Donde:

$V_{ref} = 1.23V$  (voltaje de referencia interno del IC).

$I_{adj}$  es típicamente muy pequeño y a menudo se puede despreciar en el cálculo.

Para simplificar la formula quedaría a como se muestra en la Fórmula No.11.

$$V_{out} \approx V_{ref} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{Fórmula No. 11}$$

El cálculo del valor del inductor depende del voltaje de entrada  $V_{in}$ , voltaje de salida  $V_{out}$ , frecuencia de conmutación  $f_s$ , y la corriente de salida máxima  $I_{out}$ , esto lo podemos ver en la Formula No. 12. (Texas Instruments, 2016).

$$L \geq \frac{V_{out} * (V_{in} - V_{out})}{V_{in} * f_s * \Delta I_{out}} \quad \text{Fórmula No. 12}$$

Donde:

$\Delta I_{out}$  es el rizado de corriente, normalmente se selecciona entre el 20% y el 40% de la corriente de salida máxima  $I_{out}$ .

Para el cálculo de los capacitores de entrada y de salida se procede de la siguiente manera:

Capacitor de entrada  $C_{in}$

Este capacitor filtra el rizado de corriente en la entrada, se selecciona usualmente con un valor de capacitancia en el rango de 100 $\mu$ F o mayor, dependiendo del nivel de ruido y la estabilidad de la fuente de entrada.

Capacitor de salida  $C_{out}$ :

Este capacitor se encarga de suavizar el rizado de voltaje en la salida y es crítico para la estabilidad del regulador, para realizar el cálculo aproximado de este capacitor se usa la Formula No. 13. (Texas Instruments, 2016)

$$C_{out} \geq \frac{\Delta I_{out}}{8 * f_s * \Delta V_{out}} \quad \text{Fórmula No. 13}$$

Donde:

$\Delta V_{out}$  es el rizado de voltaje deseado en la salida.

Cálculo de la resistencia de retroalimentación

Dado el voltaje de salida deseado, puedes usar la primera fórmula para determinar los valores de  $R_1$  y  $R_2$ .

Se elige un valor para  $R_1$ , generalmente se selecciona entre  $1k\Omega$  y  $5k\Omega$ .

Calcula  $R_2$  usando la Fórmula No 14:

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) \quad \text{Fórmula No. 14}$$

Para el voltaje de salida  $V_{out}=5V$  con un voltaje de entrada  $V_{in}=12V$ , frecuencia de conmutación  $f_s=52kHz$  (frecuencia típica de LM2595), y una corriente de salida máxima  $I_{out}=1A$ .

Si seleccionamos  $R_1=1k\Omega$ .

$$R_2 = 1k\Omega \left( \frac{5V}{1.23} - 1 \right) \approx 3.065k\Omega.$$

Para el inductor si seleccionamos  $\Delta I_{out}=0.3 \times I_{out}=0.3A$ ,

$$L \geq \frac{5V \cdot (12V - 5V)}{12V \cdot 52kHz \cdot 0.3A} \approx 187\mu H$$

El valor mínimo del inductor requerido es aproximadamente  $187\mu H$ . Para el circuito se eligió un inductor con un valor estándar cercano, como  $220\mu H$ , para asegurar de que tu convertidor opere de manera eficiente y estable.

Para el capacitor de salida si tenemos un rizado de voltaje deseado de  $\Delta V_{out}=50mV$ , aplicando la Fórmula No.13.

$$C_{out} \geq \frac{0.3A}{8*52kHz*50mV} \approx 14.4\mu F$$

El valor mínimo del capacitor de salida necesario es aproximadamente 14.4µF, en el diseño de circuito se usó un valor estándar cercano, como 22µF. para asegurarte de que el rizado de voltaje sea menor y el circuito funcione de manera estable.

Para poder seleccionar un diodo Schottky se deben seguir los siguientes parámetros:

- Tensión Inversa Máxima:

Esta es la tensión máxima que el diodo puede soportar en sentido inverso sin dañarse. Debe ser mayor que el voltaje de entrada. Se recomienda seleccionar un diodo con una tensión inversa al menos 20% mayor que el voltaje de entrada. (HANTECH ELECTRONICS, 2018)

- Corriente Directa Promedio:

Esta es la corriente máxima que el diodo puede conducir de manera continua sin sobrecalentarse. Debe ser mayor o igual a la corriente de salida máxima.

- Caída de Voltaje Directa:

El diodo Schottky tiene una caída de voltaje directa menor que otros diodos (generalmente entre 0.2V y 0.5V), lo que lo hace más eficiente. Menor caída de voltaje directa significa menor pérdida de potencia.

- Velocidad de Conmutación:

Los diodos Schottky son rápidos, lo que es crucial para un convertidor Buck que opera a alta frecuencia.

Con estos parámetros para seleccionar el diodo apropiado encontramos el B330B-13, cuya tensión máxima es de 30V, la corriente directa promedio es de 3 A y la caída de voltaje directa es aproximadamente 0.5V a 3 A.

La segunda parte del circuito es de control y salidas analógicas, donde estará el módulo ESP32.

La parte de control que se aprecia en la Figura No. 22, está representada por el módulo ESP32 DOIT DEVKIT V1, que mediante sus entradas y salidas GPIO, podremos controlar los sensores y el motor del sistema, las entradas son proporcionadas por la primera parte del circuito mostradas anteriormente y las salidas van conectadas al circuito integrado ULN2803 que internamente es una matriz de transistores tipo Darlington de 50V y 500mA y 8 diodos de supresión de voltaje inverso para poder manejar cargas inductivas, entre las muchas aplicaciones de este circuito integrado está la de poder controlar relés, es para esto que se utilizó para realizar la conexión del microcontrolador a lo relés de la salida. (Isaac, 2024)

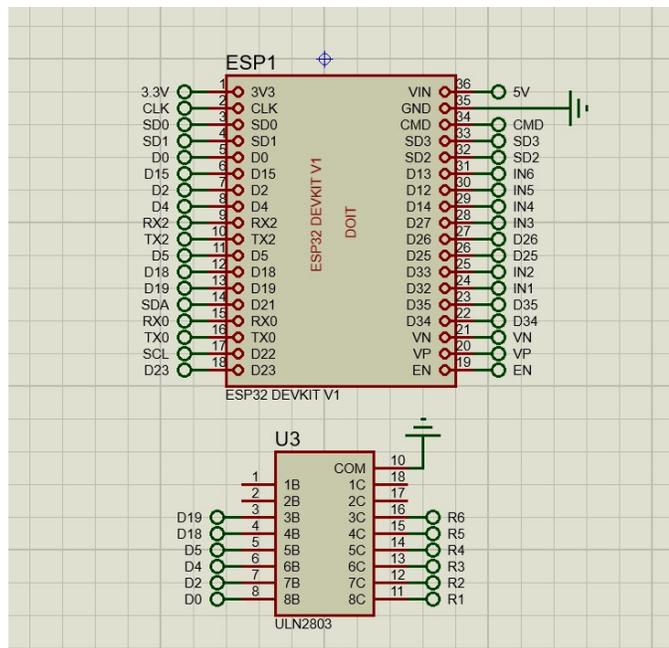


Figura No. 22: Circuito de control Con ESP32. Fuente propia

Para las salidas analógicas usamos un OPAM en configuración no inversor como se muestra en la Figura No. 23, este tiene como propósito amplificar la señal de entrada, la ganancia de la salida está dada por la ecuación:  $V_{out} = V_{in} (1 + (R1+R3/R2))$ , entonces si tuviéremos 3.3V en la entrada de este circuito la

ecuación quedaría  $V_{out} = 3.3V (1 + (20K+56K/24K))$ , esto nos daría un voltaje de 13.75V. (MICROCHIPOTLE, 2024)

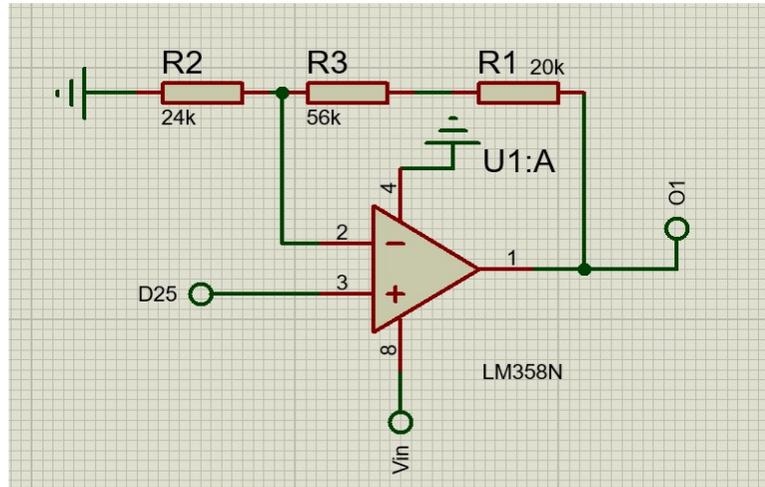


Figura No. 23: Circuito de salidas analógicas usando OPAM. Fuente propia

Para terminar, la tercera parte del circuito es de visualización de las entradas y salidas mediante diodos led, también hay una conexión para una pantalla LCD i2c que se muestra en la Figura No. 24.

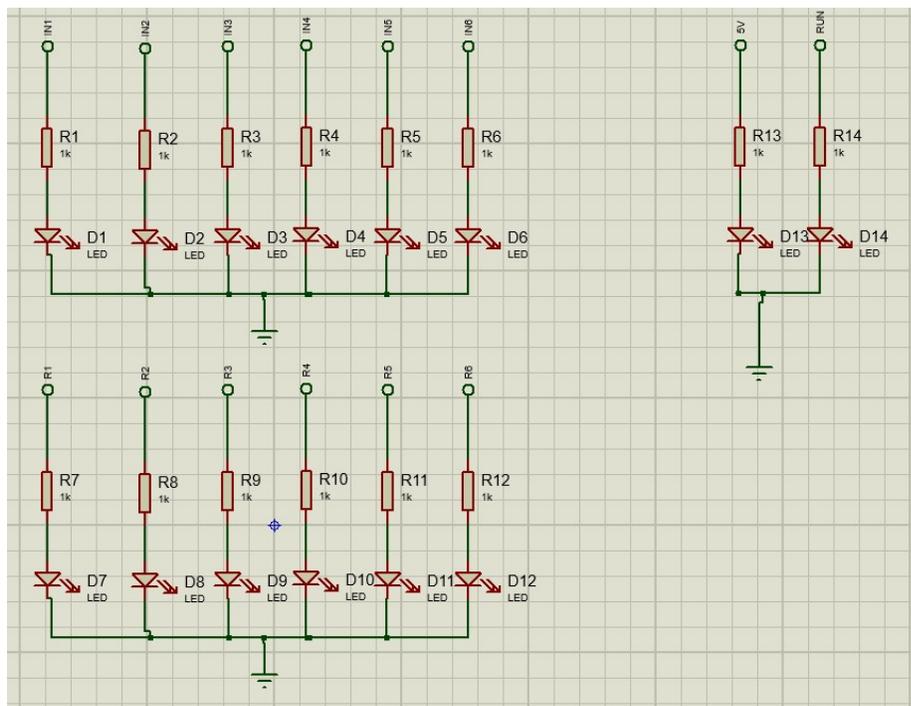


Figura No. 24: Leds y conexión I2C.

## 6.6. Creación de tarjetas PCB.

Una vez que se completó el diseño detallado de los diagramas correspondientes a cada una de las partes del circuito, se procedió a la realización de las tarjetas PCB (Placas de Circuito Impreso).

Para llevar a cabo la creación de las tarjetas PCB, se utilizó el software PROTEUS en su versión 8.15, una herramienta avanzada y ampliamente reconocida en el campo de la ingeniería electrónica. PROTEUS es conocido por su capacidad para ofrecer un entorno de diseño intuitivo y robusto que facilita la creación de esquemáticos, simulaciones y, finalmente, el diseño de las PCB.

Para la parte de entradas y salidas digitales y las entradas analógicas y la fuente de alimentación se diseñaron en una tarjeta que será la inferior que contará con unas dimensiones de 14.7 cm x 9 cm, ver Figura No.25.

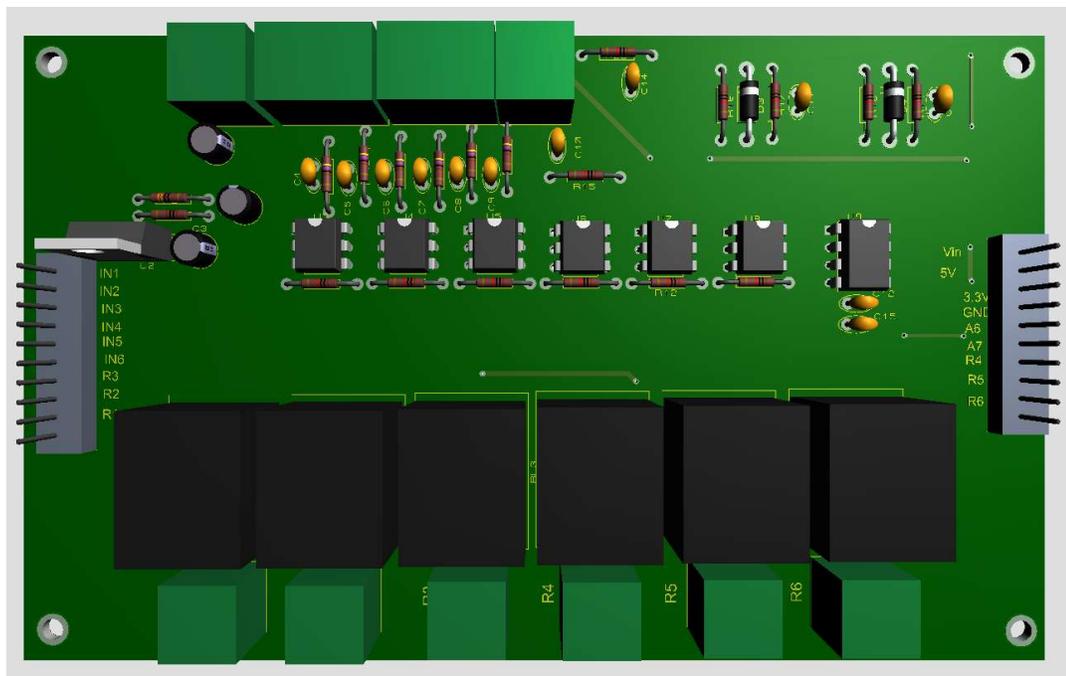


Figura No. 25: Tarjeta de fuente-entradas y salidas- entradas analógicas. Fuente propia

El diseño de la segunda parte que será la de control y salidas analógicas se montó en una tarjeta de 14.7 cm x 6.8 cm y esta irá conectada a la tarjeta inferior, ver imagen 26.

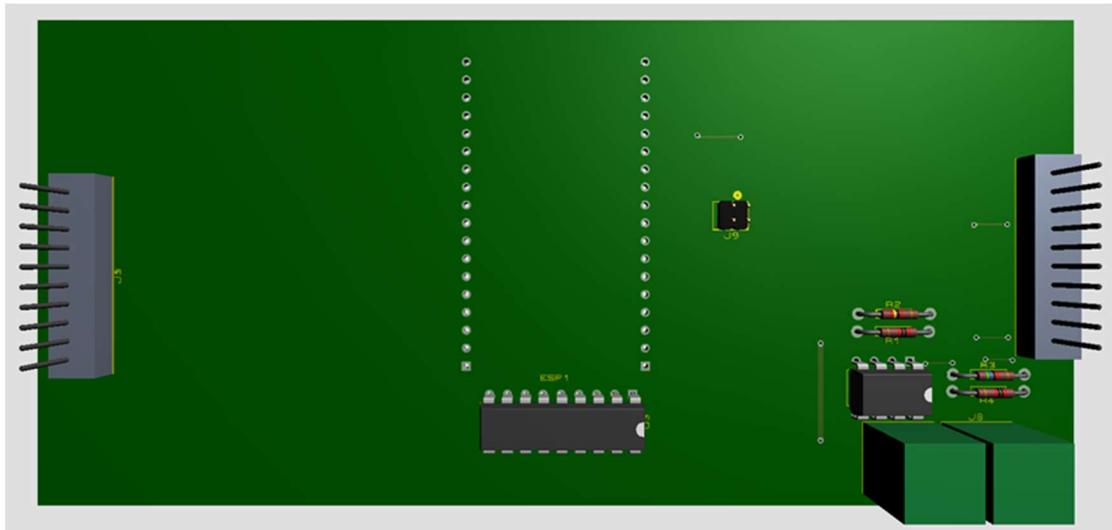


Figura No. 26: Tarjeta pcb de control- salidas analógicas.

La tercera parte que corresponde a la visualización del estado de entradas y salidas, se diseñó en una tarjeta pcb de 14.7 cm x 4.8 cm, como se muestra en la Figura No. 27.

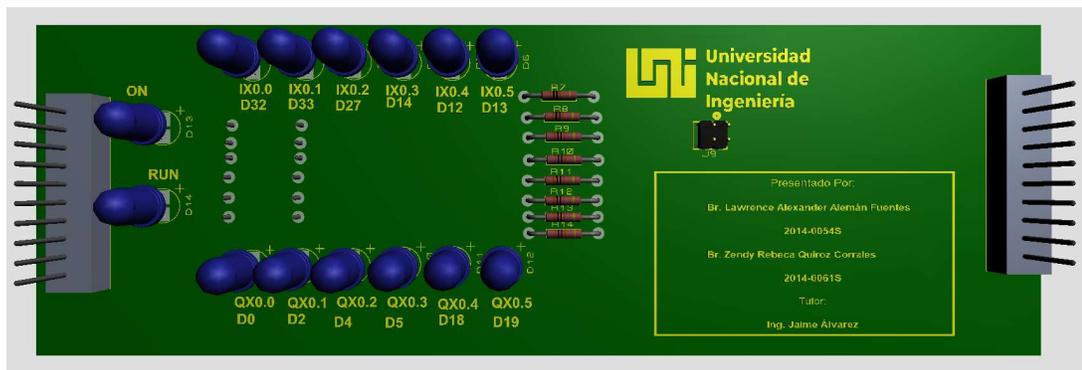


Figura No. 27: PCB de visualización de estado de entradas y salidas.

Todas las tarjetas juntas quedarían como se muestran en la Figura No. 28.

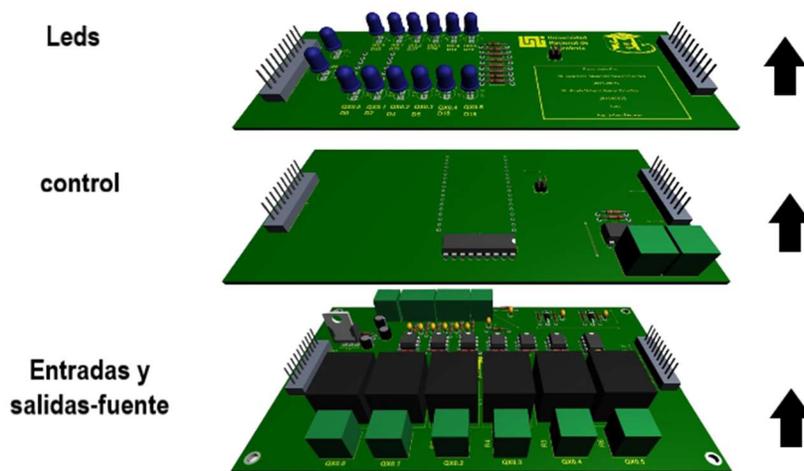


Figura No. 28: Diseño final del circuito

Las tres tarjetas van enlazadas entre si con conectores tipo header, esto para poder montar y desmontar cada módulo con facilidad, el proceso de transferencia a la tarjeta PCB lo hicimos por el método de planchado teniendo el diseño de cada tarjeta se realizó la impresión del patrón en un papel de transferencia térmica.

Luego, se colocó este papel sobre una placa de PCB virgen y se aplica calor con una plancha para transferir el diseño al cobre. Tras enfriar y retirar el papel, se sumerge la placa en un solvente para eliminar el tóner no deseado.

La placa se graba en una solución de cloruro férrico para eliminar el cobre no protegido, se limpia y se perforan los agujeros necesarios antes de montar los componentes electrónicos. Este proceso proporciona una forma económica y accesible de fabricar PCBs para prototipos y proyectos personales.

6.7. Diagrama de flujo del programa realizado para el monitoreo y control del llenado del tanque.

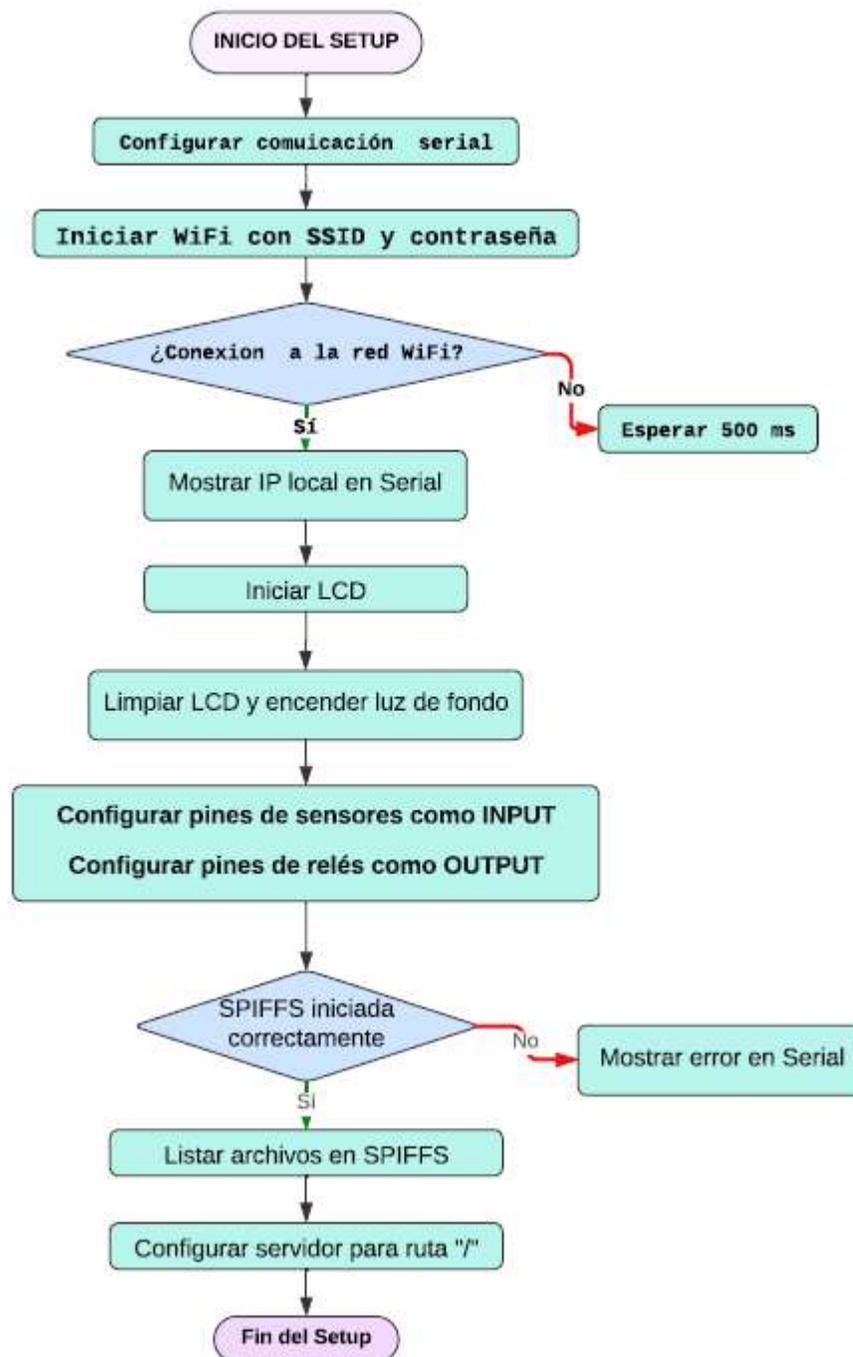


Figura No. 29: Diagrama de flujo del código realizado, parte de configuraciones.

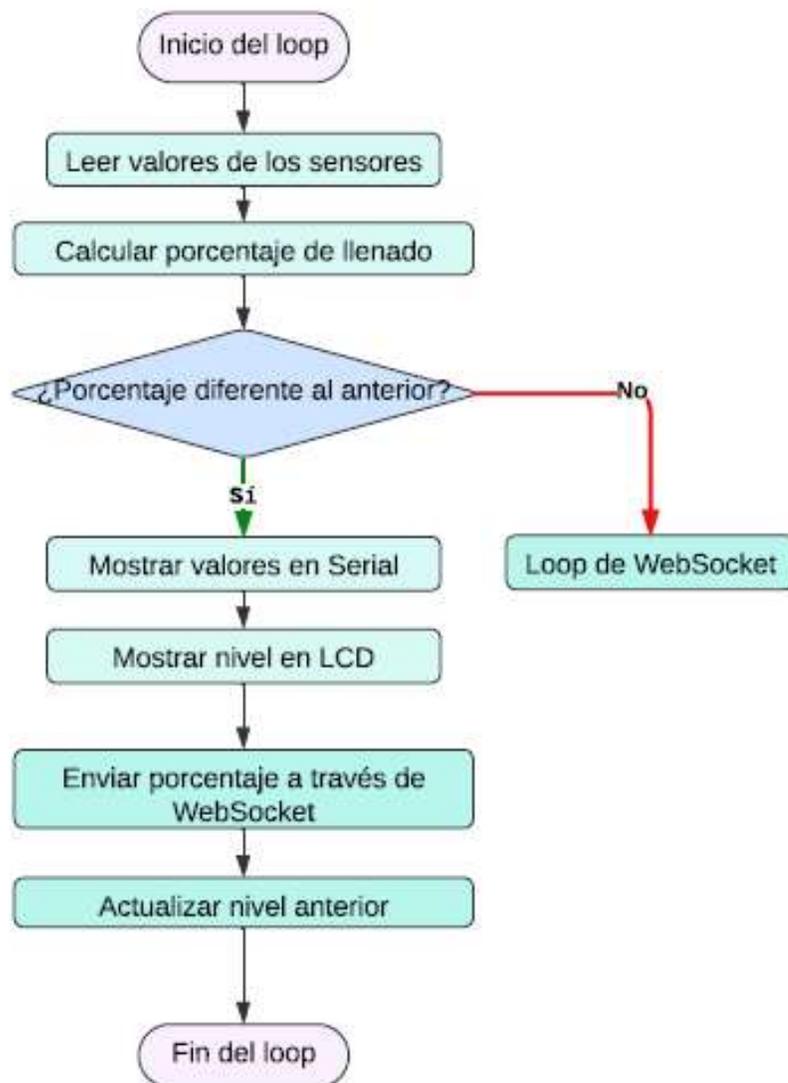


Figura No. 30: Diagrama de flujo del código creado, parte del loop.

### 6.8. Explicación del código implementado para el control del nivel del tanque.

A continuación, se explica cada una de las funciones principales del código que fue creado en la plataforma de Arduino IDE.

## Sección de librerías:

En esta sección están las distintas librerías que utilizamos para la creación del código.

**WebSocketsServer:** La librería websockets en conjunto con el ESP32 crearan una comunicación bidireccional entre un cliente web y el microcontrolador. Los websockets son una tecnología que permite establecer una conexión persistente entre el cliente y el servidor, lo que significa que los datos pueden ser enviados y recibidos en tiempo real.

**Wire:** Esta librería permitirá hacer una comunicación I2C.

**LiquidCrystal\_I2C:** Librería para controlar pantallas LCD mediante el protocolo I2C.

**WiFi:** Con esta librería se creará una conexión entre el ESP32 y una red Wi-Fi.

**ESPAsyncWebServer:** Librería para manejar el servidor web de forma asíncrona.

**SPIFFS:** Sistema de archivos SPI Flash que utiliza el ESP32, con ella almacenaremos la página HTML para visualizar el porcentaje del llenado del tanque.

```
#include <WebSocketsServer.h> //Permite la creación y gestión de un servidor  
WebSocket para comunicación en tiempo real
```

```
#include <Wire.h> //Proporciona funciones para la comunicación I2C
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Biblioteca específica para controlar  
pantallas LCD
```

```
#include <WiFi.h> // Permite la conexión del microcontrolador a una red WiFi
```

```
#include <ESPAsyncWebServer.h> // Proporciona funcionalidades para crear  
un servidor web asíncrono
```

```
#include <SPIFFS.h> // Habilita el uso del sistema de archivos SPIFFS en la  
memoria flash
```

### **Sección de credenciales y configuración de pines:**

En esta parte del código se hará la configuración de los pines gpio 32, 33, 27 y 14 como sensor1, sensor2, sensor3 y sensor4 respectivamente y a su vez se pondrán las credenciales para realizar la conexión wifia, donde ssid es el nombre de la red a la que se conectara el ESP32 y password la contraseña.

```
const char *ssid = "xxxxx";

const char *password = "xxxxx";

#define pino_rele 4

#define sensor1 32

#define sensor2 33

#define sensor3 27

#define sensor4 14
```

### **Sección de servidores:**

En esta parte están los servidores que son fundamentales para realizar la conexión wifi y websocket, donde server es un objeto creado para el servidor web configurado en el puerto 80, websocket es un objeto creado para el servidor web socket y está configurado en el puerto 81 y sendInterval es el tiempo para enviar datos a través del websocket.

```
AsyncWebServer server(80); // Servidor web HTTP en el puerto 80

WebSocketsServer websocket(81); // Servidor WebSocket en el puerto 81

const unsigned long sendInterval = 2000; // Intervalo de tiempo para el envío de datos por WebSocket
```

### **Objetos globales y variables:**

En esta parte se mencionan las variables y objetos globales donde valor\_s1, valor\_s2, valor\_s3, valor\_s4 son las variables para almacenar el estado de los

sensores, lcd es el objeto para controlar la pantalla LDC, nivel\_anterior es la variable para almacenar el nivel anterior del tanque, lastSendTime es el tiempo de la última transmisión a través de websocket.

```
int valor_s1 = 1, valor_s2 = 1, valor_s3 = 1, valor_s4 = 1;

int porcentaje_valor = 0;

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int nivel_anterior = -1;

unsigned long lastSendTime = 0;
```

### **Función notFound:**

esta función es para manejar solicitudes no encontradas en el servidor web, por ejemplo, si en cliente intenta ingresar a una parte que no está permitida en la página.

```
void notFound(AsyncWebServerRequest *request)

{

    request->send(404, "text/plain", "Not found");

}
```

### **Función handleWebSocketMessage:**

Esta función es para manejar mensajes que se enviarán por WebSocket.

```
void handleWebSocketMessage(uint8_t num, WStype_t type, uint8_t
*payload, size_t length){
```

### **Función setup:**

En esta parte va la configuración inicial del sistema, incluyendo la conexión Wi-Fi, inicialización de la pantalla LCD, configuración de pines, montaje del sistema de archivos SPIFFS y configuración de rutas en el servidor web.

### **Función loop:**

Bucle principal del programa que realiza la lectura de los sensores, calcula el porcentaje de llenado del tanque, actualiza la pantalla LCD, y envía datos a través de WebSocket si hay cambios.

```
void loop()  
  
{  
  
}
```

### **Función mostra\_nivel:**

Esta función realiza la actualización del porcentaje del nivel del llenado del tanque

```
void mostra_nivel(int nivel)  
  
{  
  
}
```

### **Función calcularPorcentaje:**

Esta función es la que calcula el porcentaje de llenado del tanque según los estados de los sensores.

```
int calcularPorcentaje(int s1, int s2, int s3, int s4)  
  
{  
  
    // Cálculo del porcentaje de llenado basado en los estados de los sensores  
  
}
```

## 7. Presupuesto.

Tabla No. 5: Presupuesto de Tarjeta de Fuente de alimentación y entadas y salidas digitales. Fuente Propia.

<b>PRESUPUESTO</b>					
<b>Proyecto: Diseño de prototipo automatizado para la distribución de agua potable con un módulo de control a base de ESP32 en la comunidad Los Rugamas- Villa El Carmen.</b>					
<b>Título del diseño:</b>			TARJETA 1: Fuente de poder-entradas-salidas		
<b>Autores:</b>			Lawrence A, Zedy Q		
<b>Creacion del diseño:</b>			lunes, 1 de enero de 2024		
<b>Última modificación del diseño:</b>			sábado, 15 de junio de 2024		
<b>Categoría</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Referencias</b>	<b>Valor</b>	<b>Coste unitario</b>	<b>Costo total</b>
Resistencias	1	R1	1k	C\$ 6,00	C\$ 6,00
Resistencias	1	R2	330	C\$ 8,00	C\$ 8,00
Resistencias	6	R3,R5,R7,R9,R11,R13	4.7k	C\$ 6,00	C\$ 36,00
Resistencias	12	R4,R6,R8,R10,R12,R14-R20	10k	C\$ 6,00	C\$ 72,00
Capacitores	1	C1	1uF	C\$ 3,00	C\$ 3,00
Capacitores	1	C2	220uF	C\$ 12,00	C\$ 12,00
Capacitores	1	C3	10uF	C\$ 10,00	C\$ 10,00
Capacitores	12	C4-C15	1nF	C\$ 5,00	C\$ 60,00
Diodos	2	D1-D2	B330B-13	C\$ 6,00	C\$ 12,00
Diodos	2	D3-D4	1N4728A	C\$ 5,00	C\$ 10,00
Terminales	8	J1,J4-J10	TBLOCK-I2	C\$ 5,00	C\$ 40,00
Terminales	2	J2-J3	TBLOCK-I3	C\$ 20,00	C\$ 40,00
Terminales	2	J11-J12	SIL-100-10	C\$ 10,00	C\$ 20,00
Bobinas	1	L1	HF70ACC575032	C\$ 15,00	C\$ 15,00
Relé	6	RL1-RL6	G5CLE-1-DC5	C\$ 50,00	C\$ 300,00
Integrados	1	U1	LM2595-ADJ	C\$ 150,00	C\$ 150,00
Integrados	1	U2	LM1117T-3,3	C\$ 80,00	C\$ 80,00
Integrados	6	U3-U8	4N25	C\$ 40,00	C\$ 240,00
Integrados	1	U9	LM358	C\$ 45,00	C\$ 45,00
<b>Totales</b>					
<b>Categoría</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Sub Total</b>			
Resistencias	20	C\$	122,00		
Capacitores	15	C\$	85,00		
Diodos	4	C\$	22,00		
Terminales	12	C\$	100,00		
Bobinas	1	C\$	15,00		
Relé	6	C\$	300,00		
Integrados	9	C\$	515,00		
<b>Total</b>	<b>67</b>	<b>C\$</b>	<b>1.159,00</b>		





## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1 CONCLUSIONES**

A lo largo del desarrollo del prototipo propuesto, se han cumplido satisfactoriamente los objetivos planteados para el desarrollo de un sistema automatizado con el fin de satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua potable en la comunidad. En primer lugar, se seleccionaron cuidadosamente los componentes, software y métodos más adecuados, considerando tanto la eficiencia como la compatibilidad de cada elemento con el prototipo a desarrollar. Esto permitió establecer una base sólida para el diseño del sistema.

Posteriormente, se llevó a cabo el diseño del esquemático electrónico y del circuito impreso para el módulo de control, utilizando el microcontrolador ESP32 como núcleo del sistema. Este diseño fue fundamental para asegurar la correcta interconexión y funcionalidad de los diferentes componentes electrónicos.

La elaboración del programa para el ESP32 ha sido un paso importante para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, esto permitió la adquisición de datos de los sensores, el procesamiento de la información y la ejecución de las acciones de control necesarias para la automatización del sistema.

Finalmente, se realizó el montaje del prototipo y se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para verificar su funcionamiento. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema diseñado cumple con los requerimientos especificados, logrando un control preciso y confiable del nivel de agua en el tanque.

En conclusión, este estudio representa un valioso aporte al campo de la electrónica, proporcionando una solución innovadora y funcional que puede tener un impacto significativo en diversos contextos. Los resultados obtenidos subrayan la importancia de una planificación cuidadosa, una ejecución precisa y un análisis exhaustivo en el desarrollo de proyectos tecnológicos, y destacan el potencial del prototipo desarrollado para abordar desafíos y necesidades específicas en el campo de estudio.

## 8.2 Recomendaciones

- Se recomienda llevar control del cloro residual empleado en la red y el tanque con el objetivo de asegurar la completa desinfección del agua a los pobladores.
- Se recomienda la integración de energía renovable como paneles solares, para la alimentación del sistema de bombeo y reducir la dependencia de la electricidad.
- Se sugiere la implementación de tecnologías IoT para monitorear y controlar de manera remota el sistema, ya que el prototipo desarrollado cuenta con las capacidades para poder ser administrado de manera remota.
- Se sugiere desarrollar un plan de capacitación comunitaria para los residentes, sobre el mantenimiento preventivo y correcto funcionamiento del sistema automatizado.
- Se recomienda crear una bitácora detallada para llevar el control de todos los mantenimientos y reparaciones realizadas en el sistema, La implementación de este registro no solo facilitará un seguimiento riguroso del estado del sistema, sino que también proporcionará información valiosa para la planificación de futuros mantenimientos, la identificación de patrones de fallos recurrentes y la optimización continua del sistema.

## 9. Bibliografía

Arango, J. M. (2001). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. Mexico.

Arduino. (2024). *DOCS. Arduino*. Obtenido de DOCS. Arduino: <https://docs.arduino.cc/>

CONAGUA, C. N. (2007). *Diseño, Construcción y Operación de Tanques de Regulación*. Mexico DF: Manual de Agua.

Energy Education. (2013). *Energy Education*. Obtenido de Energy Education: [https://energyeducation.ca/Enciclopedia\\_de\\_Energia/index.php/Presi%C3%B3n](https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Presi%C3%B3n)

ESPRESSIF. (24 de julio de 2024). *ESPRESSIF*. Obtenido de <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>

Etecé, E. e. (15 de julio de 2021). *Concepto*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/presion-2/>

Frank Ebel, S. I. (2010). Neumática Electroneumática. *FESTO Didactic*, 65.

GRobotronics. (2024). *GROBOTRONICS*. Obtenido de <https://grobotronics.com/esp32-development-board-devkit-v1.html?sl=en>

HANTECH ELECTRONICS. (2018). *HANTECH ELECTRONICS*. Obtenido de HANTECH ELECTRONICS: <https://www.rectifier-diodes.com/schottky-diode/>

HUBOR. (2015). *Hubor- Proteus*. Obtenido de Hubor- Proteus: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>

Instruments, T. (mayo de 2016). *Texas Instruments*. Obtenido de Texas Instruments: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2595.pdf>

Isaac. (29 de mayo de 2024). *Hardware Libre*. Obtenido de Hardware Libre: <https://www.hwlibre.com/uln2803/>

Kolban, N. (2017). *Kolban's book on ESP32*. Texas.

Mecafenix, I. (21 de junio de 2021). *Ingeniería Mecafenix*. (Ingeniería Mecafenix) Recuperado el 18 de febrero de 2023, de <https://www.ingmecafenix.com/como-funciona/que-es-y-como-funciona-el-sensor-de-nivel/>

MICROCHIPOTLE. (2024). Obtenido de MICROCHIPOTLE: <https://microchipotle.com/amplificadores-operacionales-configuraciones-basicas/>

Miñarro, J. R. (2012). *Proyecto Newton*. Obtenido de Proyecto Newton: [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/materia\\_y\\_energia/dimensiones.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/materia_y_energia/dimensiones.htm)

NTON 09 007-19 . (28 de septiembre de 2021). *Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) 09 007-19 DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO. AGUA POTABLE*. La Gaceta, Diario Oficial N°. 202.

Sandino, N. (13 de marzo de 2018). *El19digital*. Obtenido de El19digital: <https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:74927-enacal-ha-garantizado-el-servicio-a-mas-comunidades-de-villa-el-carmen#:~:text=Enacal%20ha%20garantizado%20el%20servicio%20a%20m%C3%A1s%20comunidades%20de%20Villa%20El%20Carmen,-Martes%2013%20de&text=>

Texas Instruments. (2016). *Texas Instruments*. Obtenido de Texas Instruments: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2595.pdf>

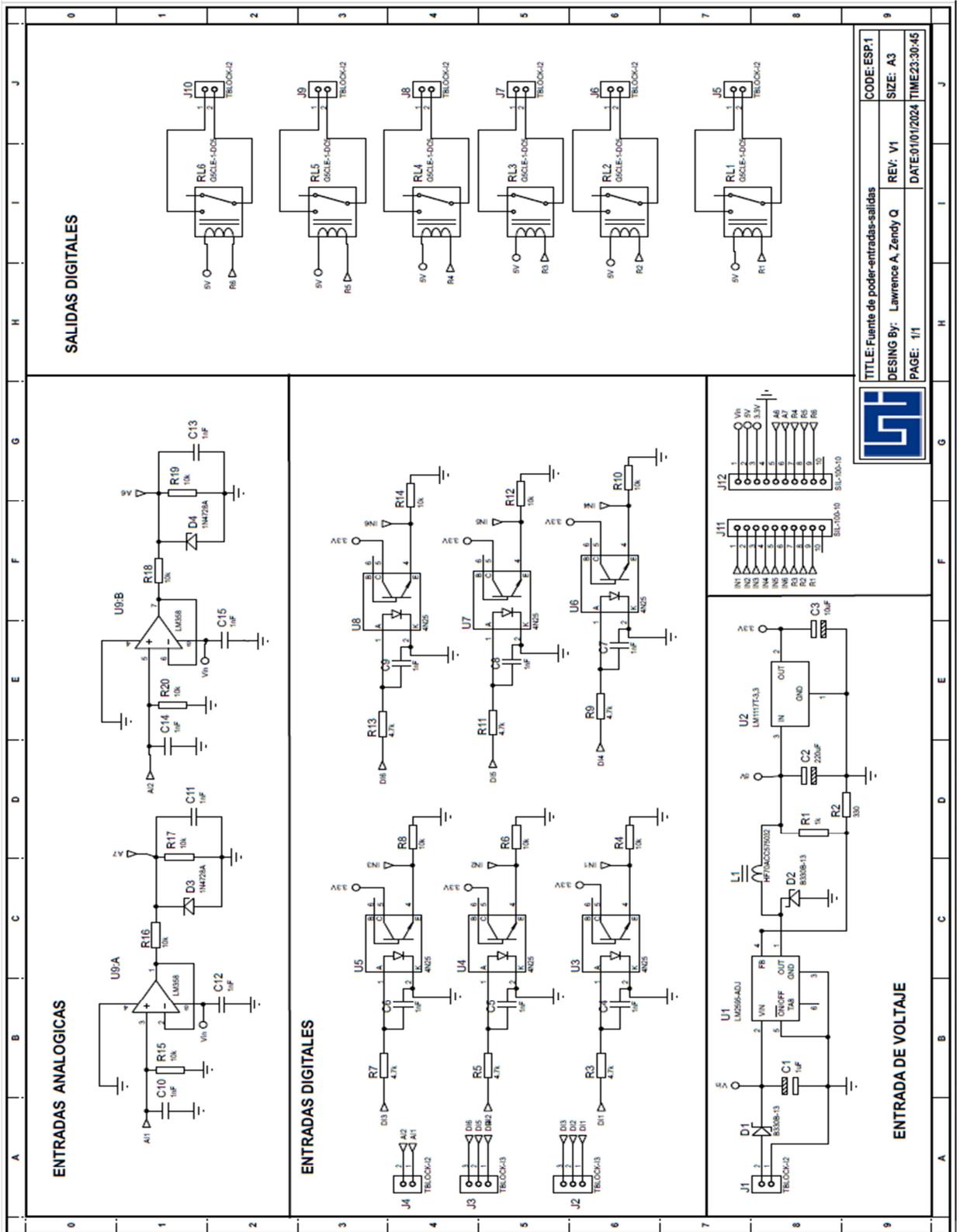
Tixe, S. (2004). *GUÍA DE DISEÑO PARA LÍNEAS DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RURAL*. Lima.

utc.city. (2024). *utc.city*. Obtenido de utc.city: <https://ni.utc.city/3539713>

Valdivielso, A. (23 de febrero de 2021). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

WordPress. (2020). *WordPress*. Obtenido de WordPress:  
[https://amplificadoresoperacionalesitmma.wordpress.com/amp-op-seguidor/#:~:text=Un%20seguidor%20de%20voltaje%20\(tambi%C3%A9n,ninguna%20amplificaci%C3%B3n%20a%20la%20se%C3%B1al.](https://amplificadoresoperacionalesitmma.wordpress.com/amp-op-seguidor/#:~:text=Un%20seguidor%20de%20voltaje%20(tambi%C3%A9n,ninguna%20amplificaci%C3%B3n%20a%20la%20se%C3%B1al.)

Anexo. 1: Esquemático de Fuente de poder, entradas y salidas digitales.



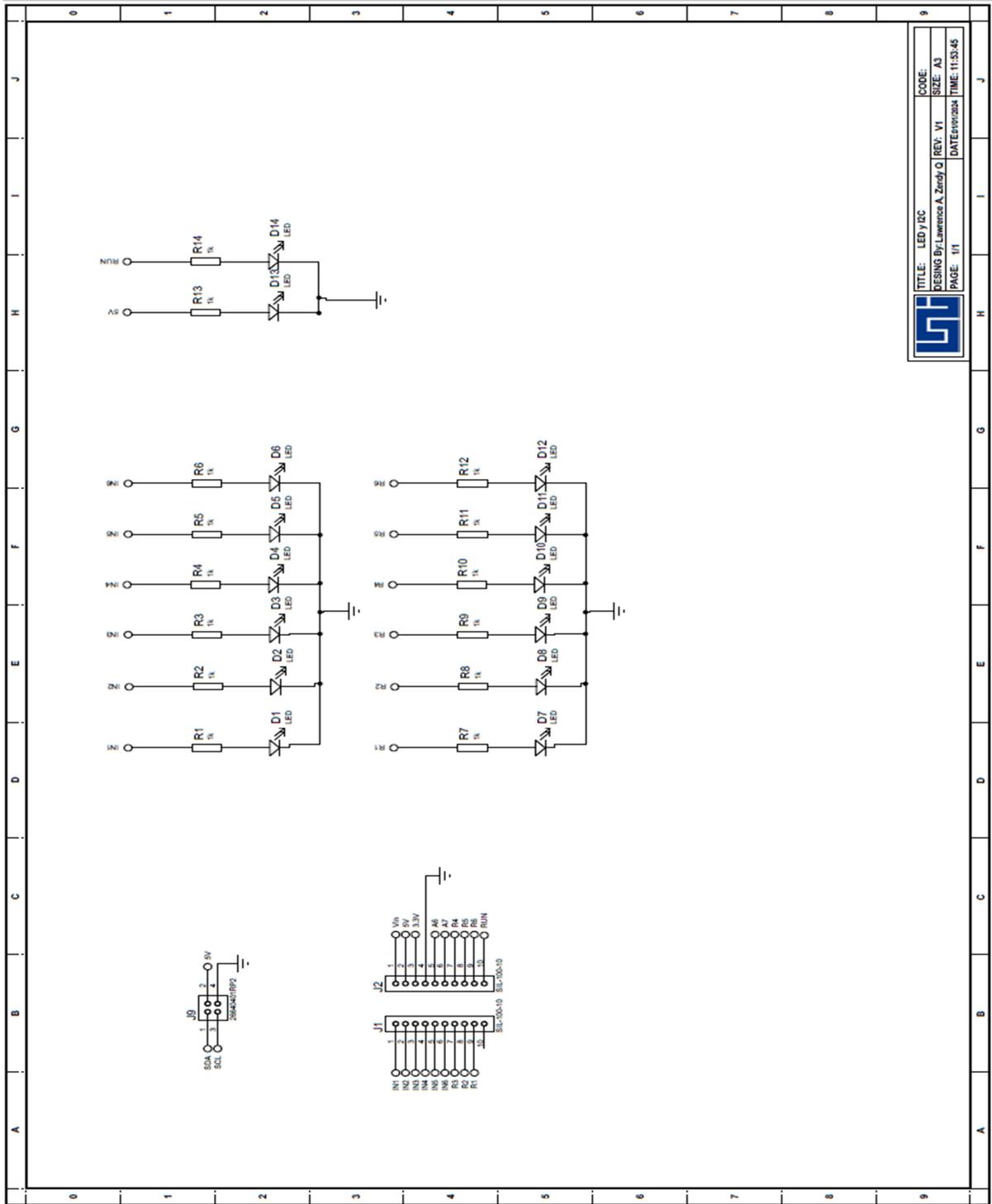
TITLE: Fuente de poder-entradas-salidas  
 DESING By: Lawrence A. Zandy Q  
 PAGE: 1/1



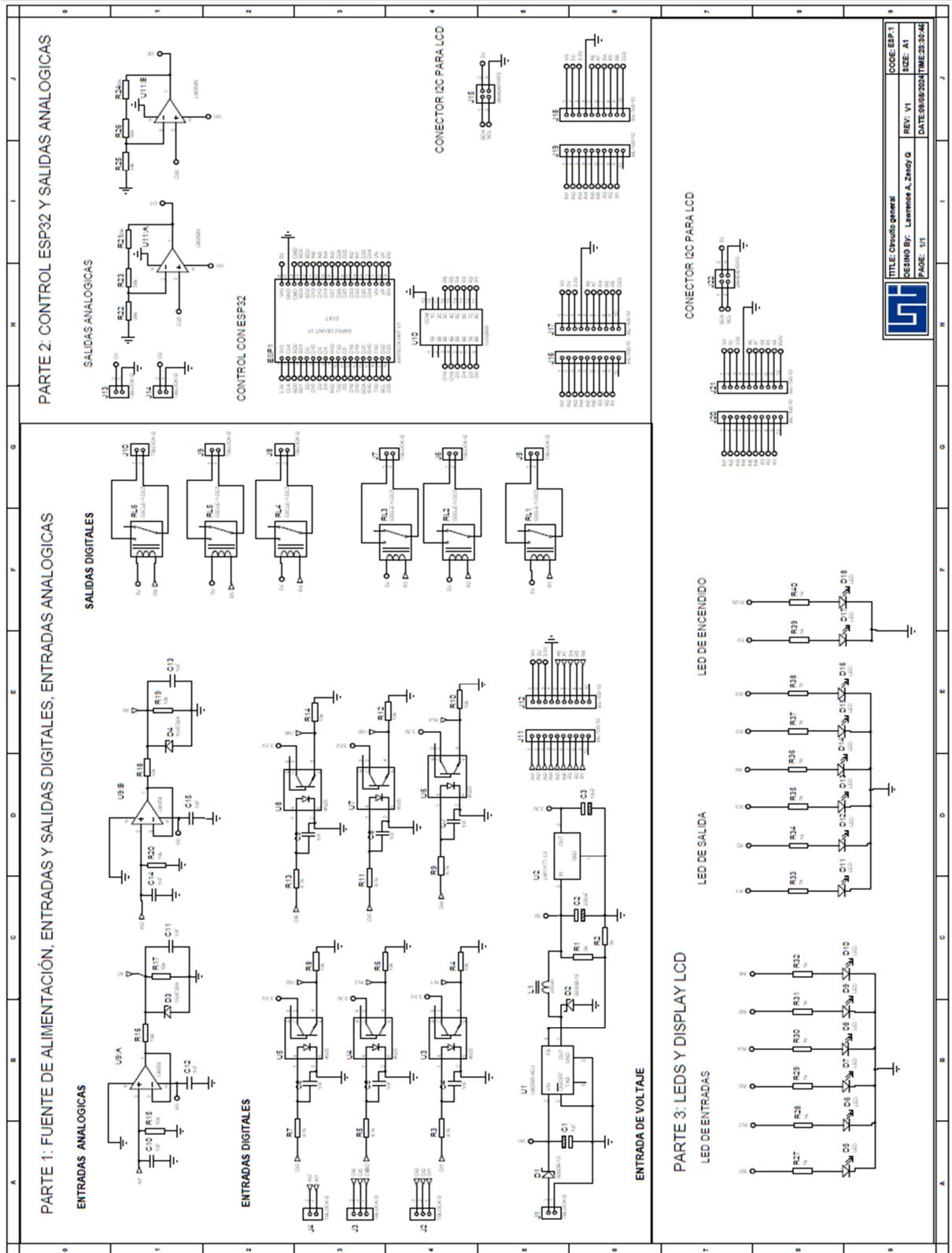
CODE: ESP1  
 SIZE: A3  
 REV: V1  
 DATE: 01/01/2024  
 TIME: 23:30:45

ENTRADA DE VOLTAJE

## Anexo. 2: Esquemático para tarjeta de leds.

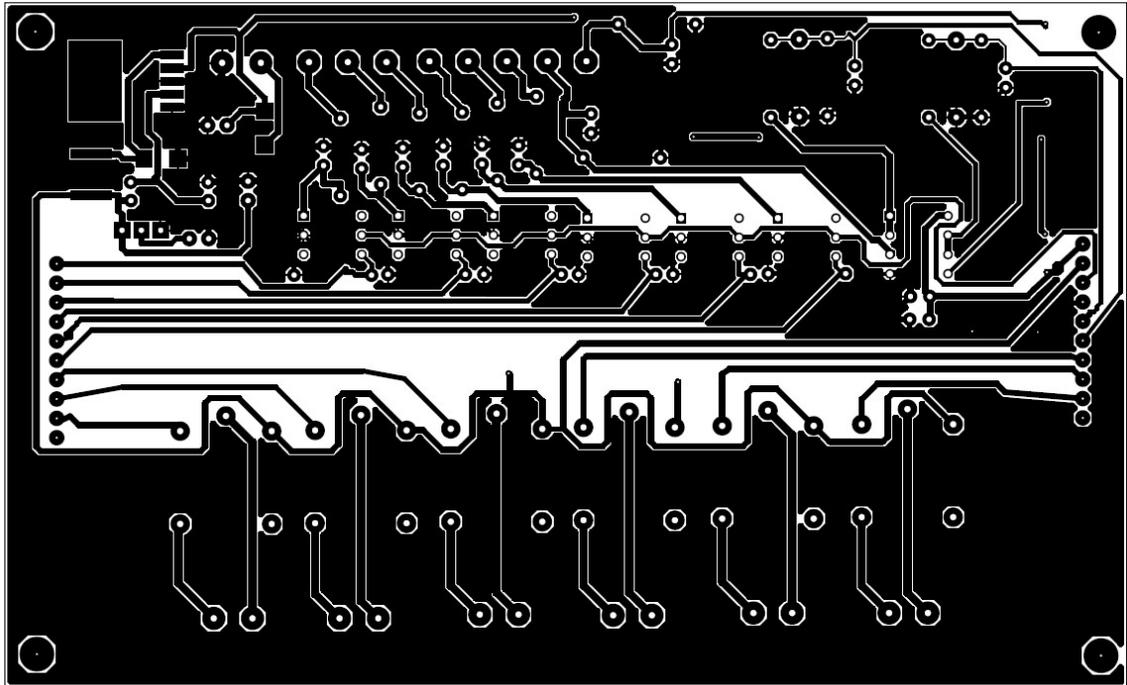


### Anexo. 3: Diseño general del circuito

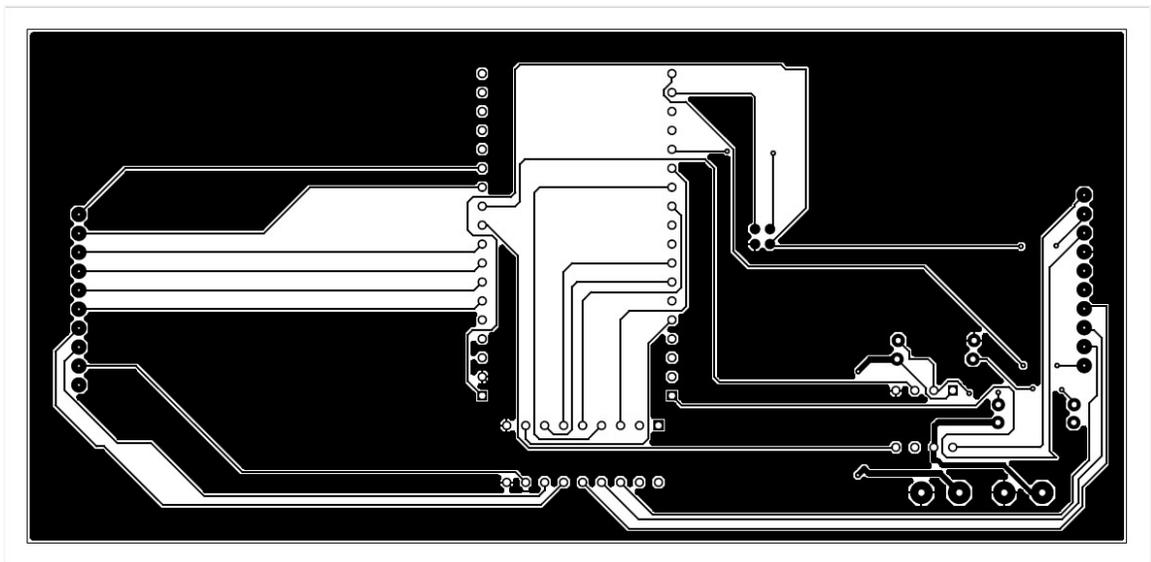


**TITLE:** Circuito general  
**DESIGN BY:** Lawrence A. Zentoy G.  
**DATE:** 08/08/2024  
**TIME:** 23:30:45  
**REV:** V1  
**SIZE:** A1  
**PHASE:** 1/1  
**CODE:** ESP-1

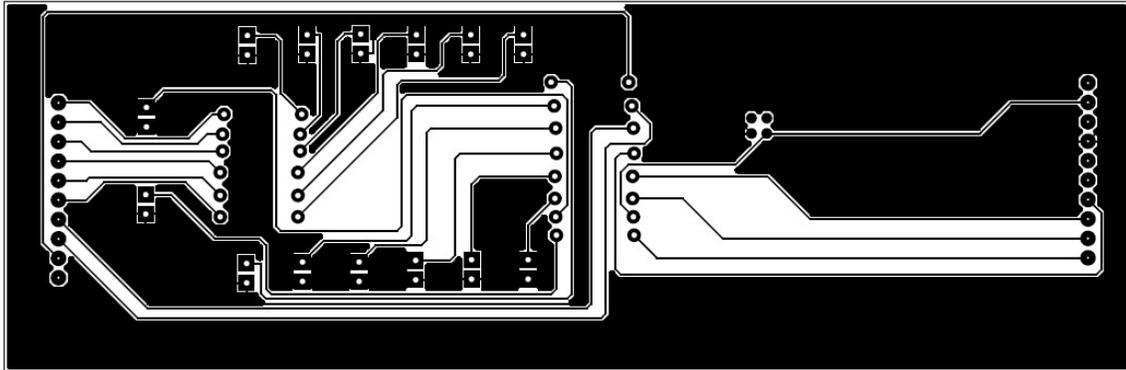
Anexo. 4: Diseño de tarjeta pcb para fuente de poder, entradas y salidas digitales.



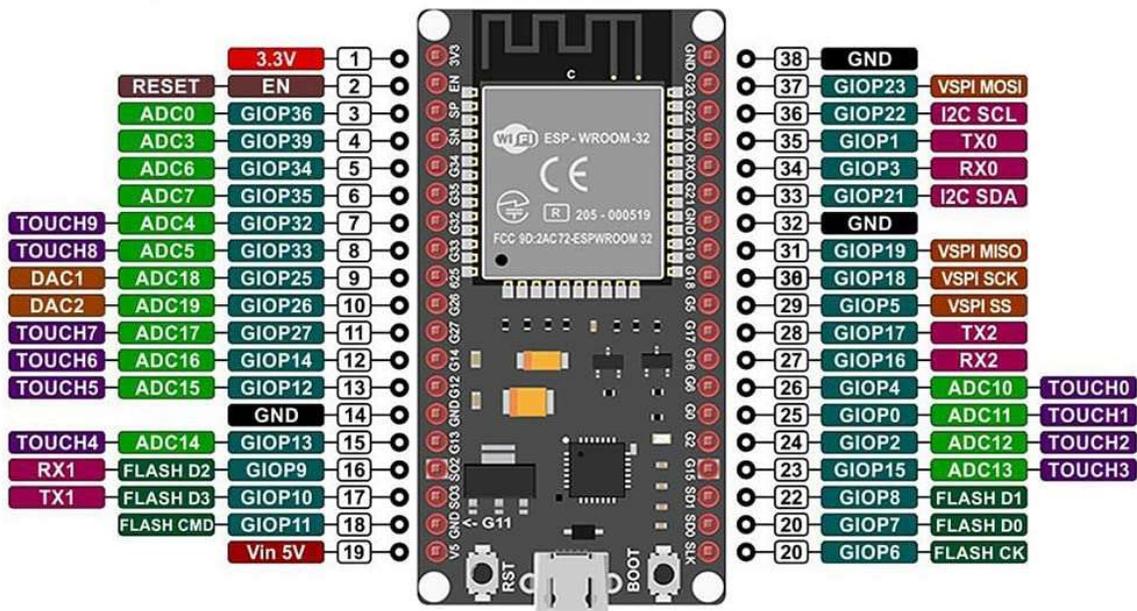
Anexo. 5: Diseño de tarjeta pcb para control, entradas y salidas.



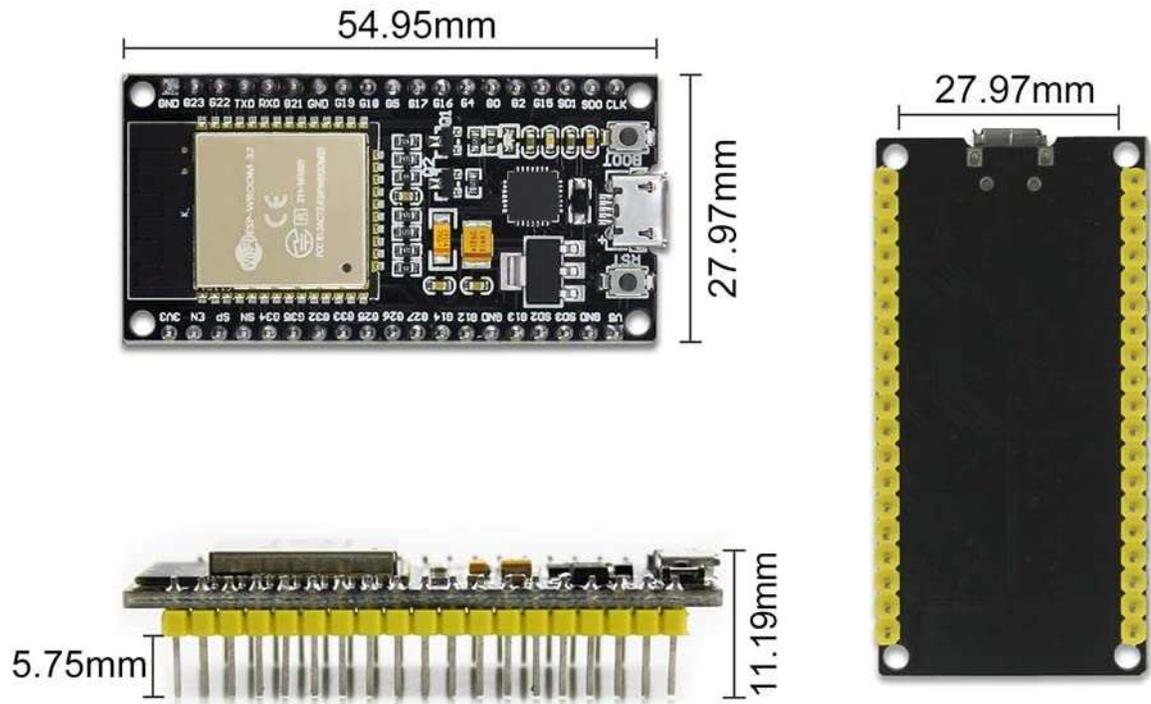
Anexo. 6: Diseño de tarjeta pcb para leds.



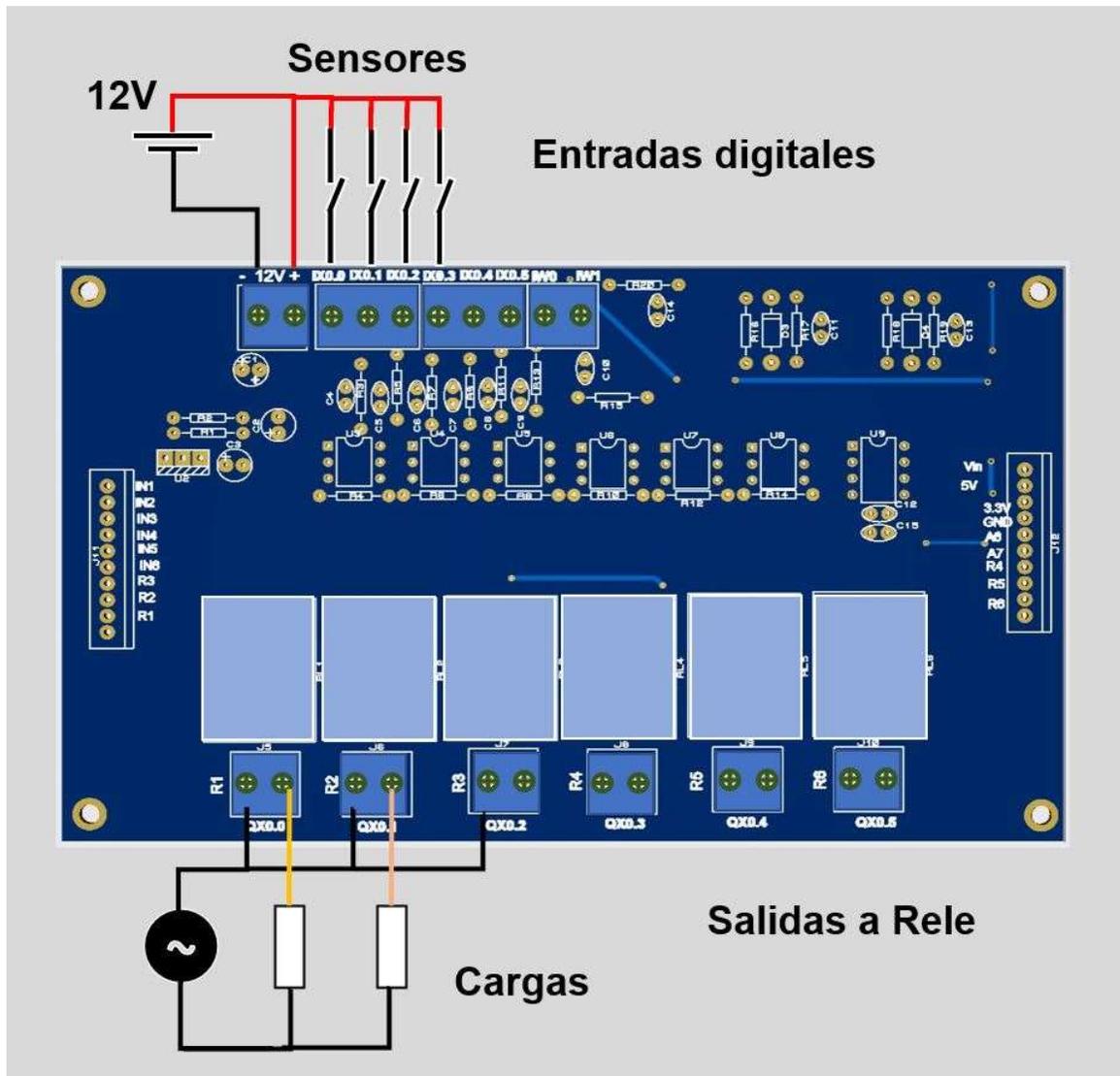
Anexo. 7: Diagrama de pines del módulo ESP32. Fuente: (GRobotronics, 2024)



Anexo. 8: Dimensiones del módulo ESP32. Fuente: (ESPRESSIF, 2024)



Anexo. 9: Conexiones externas.



## Anexo. 10: Código HTML para monitoreo del nivel del agua.

```
<!DOCTYPE html>
<html><!-- Esta es la declaración del tipo de documento, indicando que
es un archivo HTML5. -->
<head><!-- El head contiene metadatos e información sobre el documento.
-->
    <meta charset="UTF-8"><!-- Define la codificación de caracteres como
UTF-8, lo que permite mostrar caracteres especiales. -->
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0"><!-- Establece las dimensiones de la ventana gráfica,
asegurando la correcta visualización en dispositivos móviles. -->
    <title>Esp32 Gauges</title><!-- Título de la página que aparece en
la pestaña del navegador. -->
    <style>/* Estilos CSS integrados que definen la apariencia de la
página. */
        @font-face { /* Define una fuente personalizada llamada
'RobotoMedium' que se carga desde un archivo externo. */
            font-family: 'RobotoMedium';
            src: url('fonts/Roboto-Medium.ttf') format('truetype');
        }
        body,
        html { /* Establece el estilo del cuerpo y del documento HTML,
centrándolos vertical y horizontalmente. */
            font-family: 'RobotoMedium', sans-serif;
            height: 80%;
            margin: 0;
            display: flex;
            align-items: center;
            justify-content: center;
            flex-direction: column;
        }
        .gauge-container {/* Aplica márgenes y alinea el texto al centro
para los contenedores de indicadores (gauges). */
            margin-top: 30px;
            text-align: center;
        }
        header{/* Estilo del encabezado, centrándolo y aplicando la
misma fuente que el cuerpo. */
            font-family: 'RobotoMedium', sans-serif;
            height: 50%;
            margin: 0;
            display: flex;
            align-items: center;
            justify-content: center;
            flex-direction: column;
        }
        footer {/* Estilo del pie de página, con fondo claro, ubicado
al final de la página y con un alto de 100px. */
            background-color: rgb(244, 235, 235);
            position: absolute;
            bottom: 0;
            width: 100%;
```

```

        height: 100px;
        color: rgb(15, 14, 14);
    }
</style>
</head>
<header title="encabezado e la pagina"> <!-- Encabezado de la página con
el título y el logo de la universidad. -->
     <!-- Imagen del logo de la universidad, con un
ancho de 200px y un alto de 150px. -->
    <h1>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</h1><!-- Título principal que
se muestra en la página, el nombre de la universidad. -->
</header>
<body><!-- El cuerpo principal del documento donde se muestra el
contenido principal. -->
    <div class="gauge-container"> <!-- Contenedor para el indicador de
nivel de agua. -->
        <h2>Nivel de agua</h2><!-- Título del indicador. -->
        <div id="porcentaje_valor"></div><!-- Aquí se visualizará el
valor del indicador de nivel de agua. -->
    </div>
    <script src="js/libs/raphael.min.js"></script><!-- Carga la librería
Raphael para manipulación gráfica. -->
    <script src="js/libs/justgage.min.js"></script><!-- Carga la
librería JustGage, que permite crear indicadores (gauges). -->

    <script><!-- Script para inicializar el indicador. -->
        var socket = new WebSocket("ws://" + window.location.hostname +
":81"); // Establece una conexión WebSocket con el servidor.
        socket.onmessage = function(event) { // Función que maneja los
mensajes recibidos a través del WebSocket.
            let nuevo_porcentaje = parseInt(event.data); // Convierte el
dato recibido (nivel de agua) en un número entero y actualiza el
indicador.

            porcentaje_valor.refresh(nuevo_porcentaje);
        };
        // Crea un nuevo indicador (gauge) para mostrar el nivel de
agua.
        let porcentaje_valor = new JustGage({
            id: "porcentaje_valor", // Asocia el gauge con el elemento
HTML con este id.
            value: 0, // Valor inicial del gauge.
            min: 0, // Valor mínimo del gauge.
            max: 100, // Valor máximo del gauge.
            symbol: "%", // Muestra el símbolo de porcentaje.
            pointer: true, // Muestra el puntero en el indicador.
            gaugeWidthScale: 0.6, // Ajusta el grosor del indicador.
            pointerOptions: {
                toplength: 10,

```

```
        bottomlength: 10,
        bottomwidth: 8,
        color: '#8e8e93',
        stroke: '#ffffff',
        stroke_width: 3,
        stroke_linecap: 'round'
    }, // Personaliza las opciones del puntero.
    counter: true // Activa el contador para animar los cambios
en el gauge.
    });
</script>
<footer>
    <!-- Pie de página con información del autor y tutor. -->
    <p class="text-center">Elaborado por: Zandy Quiroz & Lawrence
Aleman <br> Tutor: Jaime Alvarez</p>
</footer>
</body>
</html>
```

## Anexo. 11: Código Arduino para el control con el ESP32.

```
//codigo de monitoreo de llenado de tanque
// Incluye las bibliotecas necesarias para el funcionamiento del
servidor WebSocket, comunicación I2C, LCD, WiFi y SPIFFS
#include <WebSocketsServer.h> // Permite la creación y gestión de un
servidor WebSocket para comunicación en tiempo real entre el
microcontrolador y los clientes conectados.
#include <Wire.h> // Proporciona funciones para la comunicación I2C, un
protocolo de comunicación en serie usado para conectar periféricos como
sensores y pantallas LCD.
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Biblioteca específica para controlar
pantallas LCD que utilizan el protocolo I2C, facilitando la interacción
con el display para mostrar datos.
#include <WiFi.h> // Permite la conexión del microcontrolador a una red
WiFi, habilitando la conectividad inalámbrica para el envío y recepción
de datos.
#include <ESPAsyncWebServer.h> // Proporciona funcionalidades para crear
un servidor web asíncrono en el microcontrolador, lo que permite manejar
múltiples solicitudes web simultáneamente sin bloquear el resto del
código.
#include <SPIFFS.h> // Habilita el uso del sistema de archivos SPIFFS en
la memoria flash del microcontrolador, permitiendo almacenar y acceder a
archivos como páginas HTML, imágenes y scripts.

// Credenciales WiFi
const char *ssid = "xxxxxx"; // Nombre de la red WiFi
const char *password = "xxxxxxx"; // Contraseña de la red WiFi

// Definición de pines
#define pino_rele 4 // Pin de control del relé de la bomba
#define valvula_rele 5 // Pin de control del relé de la válvula
#define sensor1 32 // Pin del primer sensor de nivel
#define sensor2 33 // Pin del segundo sensor de nivel
#define sensor3 27 // Pin del tercer sensor de nivel
#define sensor4 14 // Pin del cuarto sensor de nivel

// Instancia de servidores
AsyncWebServer server(80); // Servidor web HTTP en el puerto 80
WebSocketsServer websocket(81); // Servidor WebSocket en el puerto 81
const unsigned long sendInterval = 2000; // Intervalo de tiempo para el
envío de datos por WebSocket

// Variables de estado de los sensores y porcentaje de nivel de agua
int valor_s1 = 1, valor_s2 = 1, valor_s3 = 1, valor_s4 = 1; // Valores
iniciales de los sensores (1: no detecta agua, 0: detecta agua)
int porcentaje_valor = 0; // Porcentaje de llenado del tanque

// Inicialización del display LCD I2C con dirección 0x27 y dimensiones
16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```

int nivel_anterior = -1; // Variable para almacenar el nivel anterior y
detectar cambios
unsigned long lastSendTime = 0; // Variable para almacenar el último
tiempo de envío de datos

// Manejo de solicitudes no encontradas en el servidor web
void notFound(AsyncWebServerRequest *request)
{
    request->send(404, "text/plain", "Not found"); // Respuesta 404 en
caso de que la ruta solicitada no exista
}

// Manejo de mensajes WebSocket (sin uso específico en este código)
void handleWebSocketMessage(uint8_t num, WStype_t type, uint8_t
*payload, size_t length)
{
    // Aquí puedes manejar mensajes WebSocket si es necesario
}

// Configuración inicial del programa
void setup()
{
    Serial.begin(115200); // Inicializa la comunicación serial a 115200
bps para depuración
    WiFi.begin(ssid, password); // Inicia la conexión a la red WiFi usando
las credenciales
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
    {
        delay(500); // Espera a que la conexión WiFi se establezca
    }

    Serial.println("Conectado a la red, dirección IP: "); // Imprime
mensaje de conexión exitosa
    Serial.println(WiFi.localIP()); // Muestra la dirección IP asignada al
dispositivo

    lcd.begin(); // Inicializa el display LCD
    lcd.clear(); // Limpia la pantalla del LCD
    lcd.backlight(); // Activa la luz de fondo del LCD

    // Configura los pines de los sensores y los relés
    pinMode(sensor1, INPUT); // Configura el sensor1 como entrada
    pinMode(sensor2, INPUT); // Configura el sensor2 como entrada
    pinMode(sensor3, INPUT); // Configura el sensor3 como entrada
    pinMode(sensor4, INPUT); // Configura el sensor4 como entrada
    pinMode(pino_rele, OUTPUT); // Configura el pin del relé de la bomba
como salida
    pinMode(valvula_rele, OUTPUT); // Configura el pin del relé de la
válvula como salida

    // Inicializa SPIFFS para el manejo de archivos en la memoria flash
if (SPIFFS.begin(true))
{

```

```

    Serial.println("SPIFFS montada satisfactoriamente"); // SPIFFS
montada correctamente

    File root = SPIFFS.open("/"); // Abre el directorio raíz de SPIFFS
    File file = root.openNextFile(); // Abre el siguiente archivo en el
directorio
    while (file)
    {
        Serial.print("Archivo: "); // Imprime el nombre de cada archivo
encontrado en SPIFFS
        Serial.println(file.name());
        file = root.openNextFile(); // Continúa con el siguiente archivo
    }
}
else
{
    Serial.println("Error montando SPIFFS"); // Error si no se pudo
montar SPIFFS
}

// Configura la ruta raíz del servidor web para servir la página HTML
principal
server.on("/", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request)
    { request->send(SPIFFS, "/index.html", "text/html"); });

// Configura el manejo de rutas no encontradas en el servidor web
server.onNotFound(notFound);
server.begin(); // Inicia el servidor web

// Inicia el servidor WebSocket y define el manejo de eventos
websocket.begin();
websocket.onEvent([] (uint8_t num, WStype_t type, uint8_t *payload,
size_t length)
    { handleWebSocketMessage(num, type, payload,
length); });

    Serial.println("Monitoreo de llenado de tanque"); // Mensaje de inicio
del monitoreo
    Serial.println(); // Línea en blanco para separación en la salida
serial
}

// Bucle principal del programa
void loop()
{
    // Lee el estado de los sensores de nivel
    int valor_s1 = digitalRead(sensor1); // Lee el sensor1
    int valor_s2 = digitalRead(sensor2); // Lee el sensor2
    int valor_s3 = digitalRead(sensor3); // Lee el sensor3
    int valor_s4 = digitalRead(sensor4); // Lee el sensor4

    // Calcula el porcentaje de llenado del tanque basado en los sensores

```

```

    porcentaje_valor = calcularPorcentaje(valor_s1, valor_s2, valor_s3,
valor_s4);

    // Si hay un cambio en el porcentaje de nivel, actualiza y envía los
datos
    if (porcentaje_valor != nivel_anterior) {
        // Imprime el estado de los sensores y el porcentaje calculado
        Serial.print("S1: ");
        Serial.print(valor_s1);
        Serial.print(" S2: ");
        Serial.print(valor_s2);
        Serial.print(" S3: ");
        Serial.print(valor_s3);
        Serial.print(" S4: ");
        Serial.print(valor_s4);
        Serial.print(" Porcentaje: ");
        Serial.println(porcentaje_valor);

        muestra_nivel(porcentaje_valor); // Muestra el nivel en el display
LCD

        // Envía el porcentaje de nivel a través de WebSocket
        char porcentaje_str[4];
        sprintf(porcentaje_str, "%d", porcentaje_valor); // Convierte el
porcentaje a cadena de texto
        websocket.broadcastTXT(porcentaje_str); // Transmite el porcentaje a
todos los clientes WebSocket

        nivel_anterior = porcentaje_valor; // Actualiza el nivel anterior
con el nuevo valor
    }

    websocket.loop(); // Mantenimiento del servidor WebSocket
    delay(200); // Retardo de 200 ms entre lecturas
}

// Muestra el nivel de llenado en el display LCD
void muestra_nivel(int nivel)
{
    lcd.clear(); // Limpia el display LCD
    lcd.setCursor(0, 0); // Establece el cursor en la primera fila
    lcd.print(WiFi.localIP()); // Muestra la dirección IP en la primera
fila del LCD
    lcd.setCursor(0, 1); // Establece el cursor en la segunda fila
    lcd.print("Nivel:"); // Imprime "Nivel:" en la segunda fila

    lcd.setCursor(7, 1); // Mueve el cursor para mostrar el porcentaje
    lcd.print(porcentaje_valor); // Muestra el porcentaje de llenado
    lcd.print("%"); // Añade el símbolo de porcentaje

    nivel_anterior = nivel; // Actualiza el nivel anterior con el nuevo
valor
}

```

```

// Calcula el porcentaje de llenado del tanque basado en los valores de
los sensores
int calcularPorcentaje(int s1, int s2, int s3, int s4)
{
    // Si todos los sensores están en 0 (agua detectada), el tanque está
lleno (100%)
    if (s1 == 0 && s2 == 0 && s3 == 0 && s4 == 0)
    {
        digitalWrite(pino_rele, LOW); // Apaga la bomba
        digitalWrite(valvula_rele, HIGH); // Abre la válvula
        return 100;
    }
    // Si el primer sensor está en 1 y los demás en 0, el tanque está al
75% de capacidad
    else if (s1 == 1 && s2 == 0 && s3 == 0 && s4 == 0)
    {
        return 75;
    }
    // Si los dos primeros sensores están en 1 y los demás en 0, el tanque
está al 50% de capacidad
    else if (s1 == 1 && s2 == 1 && s3 == 0 && s4 == 0)
    {
        return 50;
    }
    // Si los tres primeros sensores están en 1 y el último en 0, el
tanque está al 25% de capacidad
    else if (s1 == 1 && s2 == 1 && s3 == 1 && s4 == 0)
    {
        digitalWrite(pino_rele, HIGH); // Enciende la bomba
        digitalWrite(valvula_rele, LOW); // Cierra la válvula
        return 25;
    }
    // Si todos los sensores están en 1, el tanque está vacío (0%)
    else if (s1 == 1 && s2 == 1 && s3 == 1 && s4 == 1)
    {
        digitalWrite(pino_rele, HIGH); // Enciende la bomba
        digitalWrite(valvula_rele, LOW); // Cierra la válvula
        return 0;
    }

    return -1; // Retorna -1 si no se cumple ninguna condición (error o
caso no previsto)
}

```

Anexo. 12: Diseño de página web para monitoreo.

